

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství 224

Návrh trhacích prací pro dálniční tunel
Design of Blasting for Highway Tunnel

Student:

Marcel Poštek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lukáš Ďuriš, Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání bakalářské práce

Student: **Marcel Poštek**
Studijní program: **B3607 Stavební inženýrství**
Studijní obor: **3647R017 Geotechnika**
Téma: **Návrh trhacích prací pro dálniční tunel**
Design of Blasting for Highway Tunnel
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

- 1, Úvod
- 2, Trhací práce pro rozpojování hornin při klasické ražbě
- 3, Dálniční tunel Ovčiarско
- 4, Návrh trhacích prací
- 5, Zhodnocení a závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Dojčár, O.; Horký, J.; Kořínek, R. *Trhacia technika*. Ostrava : Montanex, 1996. 421 s. ISBN 80-85780-69-0.
R. R. Tatiya. *Surface and Underground Excavations – Methods, Techniques and Equipment*. A.A. BALKEMA PUBLISHERS LEIDEN. ISBN 90 5809 627 0
Bhandari, S. *Engineer Rock Blasting Operations*. A.A. Balkema, 1997. ISBN: 90-5410-658-1.
Müncner, E. a kol. *Príručka pre strelmajstrov a technických vedúcich odstrelův*. SSTVP Banská Bystrica, 2011. ISBN 80-968748-4-5.
Kolymbas, D., *Tunnelling and Tunnel Mechanics: A Rational Approach to Tunnelling*. Berlin: Springer, c2005, xv, 437 s. ISBN 35-402-5196-0.
Bezpečnostní předpis, odborné časopisy, firemní literatura

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Ďuriš, Ph.D.**

Datum zadání: 30.10.2015

Datum odevzdání: 02.05.2016



doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som celú bakalársku prácu vrátane príloh vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a uviedol som všetky podklady a literatúru.

V Ostrave

.....

podpis študenta

Prehlasujem, že:

- bol som oboznámený s tým, že na moju bakalársku prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Zb. – autorský zákon, najmä § 35 – použitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školných predstavení a použitie diela školného a § 60 – školné dielo.
- beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB-TUO) má právo nezárobkovo pre svoju vnútornú potrebu bakalársku prácu užiť (§ 35 ods. 3).
- Súhlasím s tým, že údaje o bakalárskej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.
- bolo zjednané, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzatvorím licenčnú zmluvu s oprávnením použiť dielo v rozsahu § 12 ods. 4 autorského zákona.
- bolo zjednané, že užiť svoje dielo – bakalársku prácu alebo poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takomto prípade od mňa požadovať primeraný príspevok na uhradenie nákladov, ktoré boli VŠB-TUO na vytvorenie diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky).
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č. 111/1998 Zb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Ostrave.....

.....

podpis študenta

Anotácia bakalárskej práce:

POŠTEK, Marcel.: *Návrh trhacích prác pre diaľničný tunel*: Bakalárska práca. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, 2016, 74 s. Vedúci práce: Ing. ĎURIŠ, Lukáš, Ph.D.

Bakalárska práca sa zaoberá návrhom trhacích prác pre diaľničný tunel Ovčiarско. Práca je rozdelená do dvoch častí. Prvá časť sa zaoberá popisom trhacích prác pre rozpojovanie hornín pri klasickom razení, geológiou razeného územia a dôvodom vybudovania tunela Ovčiarско. Druhá časť je zameraná na návrh postupu trhacích prác, ktorý zahŕňa výpočet a návrh pasportu spolu s vrtnou schémou.

Kľúčové slová: diaľničný tunel, trhacie práce, vrtná schéma, tunel Ovčiarско

Annotation of bachelor's thesis:

POŠTEK, Marcel: *Design of Blasting for Highway Tunnel*: Bachelor's thesis. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Department of Geotechnics and Underground Engineering, 2016, 74 p. Thesis supervisor: Ing. ĎURIŠ, Lukáš Ph.D.

Bachelor's thesis deals with the design of blasting for highway tunnel Ovčiarско. The work will be divided into two parts. The first part will deal with the description of blasting rock disintegration in the classic-style, geology mined area and the reason for building the tunnel Ovčiarско. The second part will be focused on the design process of blasting work, which will include the analysis and design of passport along with drilling pattern.

Key words: highway tunnel, blasting, drilling scheme, tunnel Ovčiarско

Obsah bakalárskej práce:

Zoznam použitého značenia	8
1. Úvod	11
2. Podzemné staviteľstvo.....	12
3. Trhacie práce pre razenie podzemných inžinierskych diel.....	14
3.1 Vítacia schéma	14
3.2 Druhy vývrtov	15
3.3 Trhaviny	16
3.4 Roznecovadlá.....	18
3.5 Pomôcky pre trhacie práce	21
4. Súčasný stav riešeného územia	23
4.1 Diaľnica D1	23
4.2 Tunel Ovčiarsko	24
4.2.1 Geologické pomery.....	25
4.2.2 Hydrogeologické pomery	25
4.2.3 Geotechnické hodnotenie a rozdelenie masívu do geotechnických typov	26
4.2.4 Spôsob razenia.....	26
5. Trhacie práce tunela Ovčiarsko	27
6. Návrh a postup trhacích prác pre diaľničný tunel	28
6.1 Výpočet kaloty tunela, záber 1,3 m, sypká trhavina.....	30
6.1.1 Výpočet trhacích prác pre kalotu tunela	30
6.1.2 Elektrický roznet náloží pre kalotu tunela.....	35
6.1.3 Pasport a vrtná schéma trhacích prác pre kalotu tunela.....	37
6.2 Výpočet kaloty tunela, záber 1,6 m, sypká trhavina.....	39
6.2.1 Stanovenie trhacích prác pre kalotu tunela.....	39
6.2.2 Elektrický roznet náloží pre kalotu tunela.....	42

6.2.3 Pasport a vrtná schéma trhacích prác pre kalotu tunela.....	44
6.3 Výpočet stupňa tunela, záber 2,6 m, sypká trhavina	46
6.3.1 Výpočet trhacích prác pre stupeň tunela.....	46
6.3.2 Elektrický roznet náloží pre stupeň tunela	49
6.3.3 Pasport a vrtná schéma trhacích prác pre stupeň tunela	51
6.4 Výpočet stupňa tunela, záber 5,2 m, sypká trhavina	53
6.4.1 Výpočet trhacích prác pre stupeň tunela.....	53
6.4.2 Elektrický roznet náloží pre stupeň tunela	55
6.4.3 Pasport a vrtná schéma trhacích prác pre stupeň tunela	57
6.5 Výpočet kaloty tunela, záber 1,3 m, želatínová trhavina.....	59
6.5.1 Výpočet trhacích prác pre kalotu tunela	59
6.5.2 Elektrický roznet náloží pre kalotu tunela.....	64
6.5.3 Pasport a vrtná schéma trhacích prác pre stupeň tunela	66
6.6 Vyhodnotenie trhacích prác.....	68
7. Záver.....	70
8. Poďakovanie	71
9. Zoznam použitých zdrojov	72
10. Zoznam Obrázkov	73
11. Zoznam tabuliek	74

Zoznam použitého značenia

C	kapacita roznetnice	[V]
D _{vrtu}	priemer vývrtu	[m]
F _{HR}	razený prierez diela	[m ²]
I	bezpečný prúd elektrickej rozbušky	[A]
JTR	južná tunelová rúra	[-]
L _{aktivační}	zápalný impulz elektrickej rozbušky	[J/Ω]
L _z	zážihový impulz	[J/Ω]
NRTM	nová rakúska tunelovacia metóda	[-]
N _c	počet všetkých vývrtov na čelbe	[ks]
N _p	počet pomocných vrtov na čelbe	[ks]
N _z	počet zálomových vrtov na čelbe	[ks]
Q ₁	hmotnosť nálože	[kg]
Q _{1p}	hmotnosť nálože v 1 pomocnom vrte	[kg]
Q _{1,oprav}	opravená hmotnosť v 1 vrte	[kg]
Q _{1z}	hmotnosť nálože v 1 zálomovom vrte	[kg]
Q _c	celková hmotnosť nálože	[kg]
Q _{oprav}	opravená hmotnosť nálože v stupni	[kg]
Q _p	hmotnosť nálože v pomocných vrtov	[kg]
Q _{p,oprav}	opravená hmotnosť nálože v pomocných vrtov	[kg]
Q _{vrt}	merná spotreba vývrtov v čelbe	[bm/m ³]
Q _z	hmotnosť nálože v zálomových vrtov	[kg]
Q _{z,oprav}	opravená hmotnosť v zálomových vrtov	[kg]
R	vzdialenosť ústia zálomových vývrtov od osi zálohu	[m]
R ₁	odpor jednej rozbušky	[Ω]
R _{HV}	odpor hlavného vedenia	[Ω]
R _m	elektrický odpor pilule rozbušky	[Ω]
R _p	odpor všetkých rozbušiek	[Ω]
R _T	vyduť v trauzlu	[cm ³]
STR	severná tunelová rúra	[-]
U	napätie roznetnice	[V]
V	objem rozpojenej horniny	[m ³]
V ₀	merný objem splodín	[m ³ /kg]

V_z	objem klinového zálomu	[kg/m ³]
a	rozteč zálomových dvojíc	[m]
a	koeficient úklonu diela	[-]
b	koeficient veľkosti profilu diela	[-]
c	koeficient priemeru nálože trhaviny	[-]
d	priemer hlavného prírodného vedenia	[m]
d_n	priemer nálože	[m]
e	koeficient pracovnej schopnosti trhaviny	[-]
f	koeficient pevnosti horniny podľa Protodjakonova	[-]
k	koeficient vplyvu hustoty trhaviny	[-]
k_p	koeficient využitia vývrtu	[-]
l	hmotnosť súvislej nálože o dĺžke 1 meter	[kg]
l_n	dĺžka 1 nálože	[m]
l_{priv}	dĺžka prírodného vedenia	[m]
l_z	dĺžka zálomových vývrtov	[m]
m	koeficient počtu voľných plôch	[-]
m	koeficient pevnosti horniny	[-]
n	súčiniteľ upnutia horniny	[-]
n	počet paralelných vetiev	[-]
q	základná merná spotreba trhaviny	[kg/m ³]
q_p	merná spotreba trhaviny v pomocných vrtov	[kg/m ³]
q_{str}	stredná merná spotreba trhaviny	[kg/m ³]
q_z	merná spotreba trhaviny v zálomových vrtov	[kg/m ³]
s_1	súčiniteľ rozpojiteľnosti horniny	[-]
s_2	súčiniteľ štruktúry horniny v čelbe	[-]
t	koeficient pracovnej schopnosti trhaviny	[-]
w_{max}	maximálny odpor v čelbe	[m]
x	priblíženie zálomových vývrtov	[m]
x	koeficient štruktúry horniny v čelbe	[-]
x	koeficient vplyvu priemeru nálože	[-]
y	koeficient charakteru horniny	[-]
z_{sk}	skutočná zábierka	[m]
z_z	zábierka zálomu	[m]
α	uhol zálomových vrtov k rovine čelby	[°]

Υ	hustota trhaviny	[kg/m ²]
ρ	merný odpor vodiča	[Ω /m]
τ	časovo vyvíjajúca konštanta kondenzátoru	[s]

1. Úvod

Téma práce je „*Návrh trhacích prác pre diaľničný tunel.*“ Náplňou práce je návrh trhacích prác pre diaľničný tunel. Pre návrh trhacích prác bol zvolený tunel Ovčiarsko na základe dostupných informácií a možnosti exkurzie súčasnej realizácie tunela.

Trhacie práce sa začali vyvíjať postupne v čase s vývojom trhacej techniky. Čierny prach je najstaršia známa výbušnina na svete, ktorá vznikla medzi 7. - 9. storočím v Číne. Jej primárne použitie bolo hlavne vo vojenstve, pri výrobe granátov, pušiek a mnoho iného.

Do Európy bol čierny prach dovezený až v 13. storočí, odkedy začína prosperovať výroba strelných zbraní. Prvé použitie v baníctve sa uskutočnilo pri razení štôlní Horní Bobří v Banskej Štiavnici roku 1627. Až do objavenia dynamitu v roku 1867 Alfrédом Nobelom bol čierny prach jedinou známou trhavinou. Nobel dal základ k novej lepšej trhacej techniky a podnietil ostatných na ďalší rozvoj trhavín ako ekrazit, pentrit, trinitrotolúen a ďalšie.

V posledných desaťročiach sa trhacie práce rozvinuli natoľko, že ich použitie našlo uplatnenie napríklad v stavebníctve, lesníctve, metalurgii alebo pri živelných pohromách. Trhacie práce zjednodušili, zefektívnila a urýchlili výstavbu podzemných diel v určitých typoch zemín. V dnešnej dobe má trhacia technika širokú škálu výrobkov a jej uplatnenie pri budovaní tunelov je veľké. I napriek veľkej rozsiahlosti použitia treba pri zaobchádzaní s výbušninami dbať na bezpečnosť. Preto s touto technikou nemôže zaobchádzať hocikto, na používanie je treba mať dôkladnú znalosť a je vyhradená len oprávneným osobám.

Bakalárska práca je rozdelená na časť teoretickú a praktickú. Teoretická časť sa zaoberá podzemnými stavbami, ich rozdelením a prínosom pre stavitel'stvo. Následne širšou rešeršou trhacích prác a vývojom ciest, respektíve diaľnic na Slovensku, konkrétne jednému úseku. Jedná sa o úsek Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka, na ktorom sa stavia tunel Ovčiarsko. Tunel Ovčiarsko je budovaný novou rakúskou tunelovacíou metódou. Tunel je razený cyklicky pomocou strojov a trhacích prác tam, kde je to ekonomicky vhodné. V prác je postupne rozobraný tunel z rôznych hľadísk týkajúcich sa samotnej výstavby a použitia trhacích prác.

V druhej časti práce je návrh postupu na trhacie práce pre Tunel Ovčiarsko v danej triede horniny. Návrh výpočtu je stanovený pre stupeň a kalotu tunela. Súčasťou návrhu trhacích prác je pasportizácia a vrtná schéma. V závere je porovnanie použitých trhavín a ich závislosť spotreby na zábere.

2. Podzemné staviteľstvo

Podzemné staviteľstvo je v dnešnej dobe veľmi rozšírené. Prináša ďalšie možnosti ako ekonomicky využiť priestor pod zástavbou plôch vo veľkých mestách. Podzemné staviteľstvo zlepšuje možnosti vedenia dopravných stavieb v zastavanej krajine s minimálnym negatívnym vplyvom na životné prostredie. Nahrádza tak vedenie predraženej cestnej dopravy po povrchovej trase v zložitej morfolologickej časti miest. Vytvára príležitosť pre rozvoj miest, ako aj celospoločenské a hospodárske potreby spájania nielen regiónov ale aj štátov.

Pri budovaní podzemných diel sa používajú rôzne spôsoby výstavby. Pre razené stavby môžu byť použité mechanizmy pre moderné metódy razenia alebo klasické metódy razenia pomocou trhacích prác (Obr. 1). Trhacie práce sa používajú pri razení tam, kde sa strojové mechanizmy už nevyplatia používať. Mechanizmy môžu byť buď strojové pre cyklické razenie alebo strojné komplexy na kontinuálne razenie. Hĺbené stavby sa používajú pri výstavbe vo svahových jamách alebo pažených jamách alebo pomocou konštrukčných podzemných stien. Pri hĺbených stavbách sa tiež využíva ako špeciálna metóda nazývaná „korytnačka“, pri ktorej sa vybuduje najprv z povrchu strop a následne sa pod ním razí. Pri hĺbených stavbách sa trhacie práce moc nevyužívajú.



Obr. 1 Trhacie práce na tuneli Ovčiarsko (Zdroj: /www.teraz.sk)

Spôsob výstavby pomocou hĺbenia je využívaný pri budovaní veľkých podzemných diel ako napríklad kaverny alebo tunely. Ďalšie metódy sú zasypávané, presypávané alebo iné špeciálne metódy používané v prostredí, kde nie je možné použiť inú metódu. Podzemné diela sú

využívané na rôzne účely ako sú dopravné, komunikačné, vodohospodárske, halové, šachy alebo iné.

Podzemné stavby tak môžeme rozdeliť podľa dispozičného riešenia na:

- líniové stavby
- kaverny
- jamy
- šachty

Za líniové stavby sa považujú rôzne štôly, tunely, galérie alebo kolektory. Charakteristickou črtou týchto stavieb je ich dĺžka, prevládajúca nad ostatnými rozmermi. V podzemnom staviteľstve sú to najčastejšie budované stavby. Ich prioritnou úlohou je vedenie dopravných alebo inžinierskych sietí. Najčastejšie využitie dopravných tunelov je pre cestnú dopravu a železničnú dopravu. Tunely sú vyzúvané pri výstavbe diaľnic pre prekonávanie horských prekážok pre zachovanie smerového a výškového vedenia alebo pre urýchlenie a zjednodušenie dopravy. Nahradzujú tak zložité a predražené objazdy hornatého prostredie pomocou pilot a zárezov do svahov.

Kaverny sú veľké podzemné priestorové stavby, väčšinou s rovnakými rozmermi. Stavba kaverny vyžaduje špeciálne raziace metódy a obvykle sú stavané iba v zdravej hornine s malým horninovým tlakom. V podzemnom staviteľstve sa kaverny používajú pre továrne, elektrárne, skladiska, úkryty a podobne.

Jamy sú v podzemnom staviteľstve zvislé podzemné diela. V podzemnom staviteľstve sa považuje za šachtu zvislá hĺbená alebo razená jama obdĺžnikového alebo kruhového prierezu. Šachty sú razené pomocou strojových mechanizmov, zhora na dol alebo zdola na hor. Pri razení šacht sa rozlišujú nasledovné spôsoby kontinuálneho razenia: raisedrill (raiseboring) a šachtových raziacich strojov.

3. Trhacie práce pre razenie podzemných inžinierskych diel

Trhacie práce sú aj cez nástup modernej raziacej techniky prevládajúcou technológiou rozpojovania hornín pri razení podzemných diel. Hlavným cieľom trhacích prác pri razení inžinierskych diel je rozpojiť minimálnym množstvom vrtovej a trhavin maximálny objem horniny, ktorá bude vhodná na ďalšie spracovanie s minimálnymi škodlivými účinkami. Medzi základné parametre trhacích prác patrí: vrtné schéma, trhavina a roznet nálože. Pre efektívne prevedenie práce sa vypracováva tzv. *projekt odstrelu*, pod ktorým rozumieme presné stanovenie parametrov a podmienok pre rozpojenie horniny. Schopnosť prevedenia kvalitného odstrelu, jeho vysoká technická úroveň a finálna efektívnosť rozpojovania závisí na kvalite projektu a jeho realizácii. Projekt musí zahŕňať: návrh vhodnej trhaviny, jej priemer a geometriu rozmiestnenia na čelbe; vŕtaciú schému, rozstupy vrtovej, dĺžku a počet, hmotnosť a poradie odpálenia náloží; možné škodlivé účinky. [1]

3.1 Vŕtacia schéma

Vŕtacia schéma je výkres návrhov vrtovej, ktorý znázorňuje rozmiestnenie vrtovej na čelbe výrubu a ich časový stupeň. Schéma sa navrhuje podľa základných údajov rozpojiteľnosti horniny, pre jej najkvalitnejšie rozpojenie bez ovplyvnenia horninového prostredia za lícom výrubu.

Počet vrtovej v zábere pri zvolenom priemere vývrtu, dĺžku záberu a tvar prierezu výrubu ovplyvňuje spotreba trhaviny, ktorá je popisovaná množstvom kilogramov rozpojenej horniny na meter štvorcový. Zohľadňuje sa pri tom pracovná schopnosť zvolenej trhaviny, jej náložová hustota a požadovaná dĺžka upchávky vývrtu. Stanovenie tejto hodnoty sa robí väčšinou na základe skúseností alebo pomocou viacerých empirických vzťahov získaných z dlhodobého sledovania.

Merná spotreba trhaviny závisí na:

- pevnosti rozpojovanej horniny
- počte voľných plôch alebo hutnosti rozpojovanej horniny v horninovom masíve
- veľkosti prierezu výrubu
- pracovnej schopnosti a hustoty trhaviny
- priemere nálože trhaviny vo vzťahu k priemeru vývrtu
- hustote a charakteru plôch diskontinuity v horninovom masíve

- presnosti realizácie vŕtacej schémy a časovania náloží. [1]

3.2 Druhy vývrtov

Nálože v profile diela sa rozdeľujú do troch základných typov vývrtov: zálomové, priberacie, obrysové. Úlohou zálomových vrtov je vytvoriť prvotný vlom do plochy čelby, pri ktorom je spotreba trhaviny najväčšia, lebo trhavina vykonáva najväčšiu prácu. Nálože priberacích vrtov majú za úlohu rozšíriť zálom, ktorý následne obrysové vrty dotvarujú na projektovaný obrys diela.

Záломové vrty sa navrhujú pre prvotné rozpojenie horniny a vytvorenie voľnej plochy pre postupné rozširovanie na požadovaný obrys diela. Pre plné využitie záloму je nutné spraviť časový predstih náloží pred ostatnými, pre odtrhnutie horniny a k jeho vyhodeniu z diela. Záломové vrty delíme podľa tvaru, konštrukcie a časovania na: zbiehavé, priame a prechodné.

Zbiehavé zálomy

Hlavnou črtou zbiehavých zálomov je to, že vrty sú naklonené k rovine čelby, tak, že priamka záberu neprechádza osou vrtu.

Pre návrh zálomových vrtov platia určité zásady:

- uhol, ktorý zvierá vývrt s čelbou závisí na pevnosti rozpojovanej horniny v tlaku
- trhavinová nálož má u zbiehavého záloму pôsobiť z hĺbky a jej dĺžka by nemala prekročiť 40% dĺžky zálomového vrtu, v opačnom prípade hrozí vyfúknutie nálože
- upchávka zálomových náloží musí byť čo najdokonalejšia [1]

Záломové vrty delíme na mnohostranné (klinový, kužeľový, pyramídový), jednostranné, kombinované (nožnicový, vejárový).

Zálomy priame

Znakom priamych zálomov je, že vrty sú vedené kolmo k čelbe a vrt je nabitý po celej dĺžke s minimálnou upchávkou. Priame zálomy delíme na trieštivé (kanadské) a uvoľňovacie (valcové).

Zálomy prechodné

Sú kombináciou zbiehavých a priamych, tvorené navzájom rovnobežnými vrtmi aj osou diela. Vrty môžu mať rôznu dĺžku a priemer s použitím aj nenabitých vrtov. Prechodné zálomy delíme na lievikové, stupňovité, šrobové a drobivé.

Rozširovacie vrty slúžia na rozšírenie zálomovej dutiny na celú plochu čelby. Rozpojujú horninu ktorá už je narušená od zálomoveho odstrelu a preto je merná spotreba v rozširovacích vrtov 60 % zo zálomových. Rozloženie vývrtov na čelbe je vo vzájomných vzdialenostiach.

Sila obrysových vrtov je najslabšia a načasovaná ako posledná. Slúži len na dotvorenie výrubu do požadovaného prierezu. Rozloženie na čelbe sa musí stanoviť pre najlepšie dosiahnutie tvaru. Optimálna vzdialenosť je 10 až 15 násobok priemeru vrtu.

3.3 Trhaviny

Najviac používanou metódou rozpojovania skalných hornín je pomocou náloží trhavín, ktoré sú umiestnené do vrtov. Rozpojenie horniny dosiahneme pomocou výbuchu, ktorý je v podstate fyzikálne mechanický dej vedúci k náhlemu uvoľneniu energie za pomerne krátku dobu. Pri používaní priemyslových trhavín k trhacím prácam sa v podstate stretávame len s chemickým výbuchom.

Výbušnina je teda chemická látka alebo zmes, ktorá je schopná chemického výbuchu. Podľa spôsobu vyvolania výbušnej premeny ich rozdeľujeme na priame a nepriame. K vznieteniu priamej výbuštiny postačí jednoduchý podnet. Týmto podnetom môže byť napríklad trenie, náraz, oheň a podobne. Do tejto skupiny patria traskaviny a streliviny. Nepriame výbuštiny môžeme priviesť k výbuchu väčšinou len pomocou väčšieho množstva energie, spravidla výbuchom priamej výbuštiny. Do tejto skupiny patria takmer všetky priemyslové trhaviny.

Podľa praktického využitia delíme výbuštiny na:

- streliviny
- traskaviny
- trhaviny
- priemyslové trhaviny. [1]

Streliviny sú látky, ktoré sú schopné uvoľňovať horením plyny o vysokom tlaku a teplote. Rozdeľujú sa na prachy a pohonné hmoty (kvapalné, tuhé a hybridné). Základné

komponenty strelivín tvoria mechanické zmesi látok, ktoré umožňujú horenie. Streliviny preto vždy obsahujú látky schopné okysličenia (palivo) a látky okysličujúce (okysličovadlá). Základnou strelivinou je čierny prach.

Traskaviny sú ľahko vznietiteľné výbušniny, ktorým stačí pomerne malý podnet (úder, trenie, iskra a pod.). Sú schopné rýchleho prechodu od výbuchového horenia k detonácií. Preto sa spravidla používajú k vyvolaniu detonácií inej výbušniny. Najčastejšie využitie je pri iniciácií priemyslových trhavín alebo ako primárna náplň rozbušiek.

Trhaviny sú výbušniny, ktoré sú za normálnych okolností relatívne málo citlivé k vonkajším vplyvom a naopak po iniciácií dokážu detonovať s veľkou detonačnou rýchlosťou. Pri trhacích prácach sú jedným zo základných prostriedkov pre rozpojovanie hornín. Medzi najpoužívanejšie patria pentrit, hexogén alebo trinitrotoluén.

Priemyslové trhaviny sú zmesi organických a anorganických látok výbušnej aj nevýbušnej povahy, ktorých úlohou je rozpojenie materiálu. K iniciácií priemyselnej trhaviny je potrebný silný počiatkový impulz, ktorým vo väčšine prípadov býva výbuch rozbušky (naplnená traskavinou) alebo prvotnej nálož. Ďalej ich delíme na povrchové, banské skalné trhaviny, banské bežné a zvláštne. Pre razenie tunelov sa používajú výhradne banské skalné trhaviny, ktoré podľa zloženia delíme na klasické a moderné typy trhavín.

Ku klasickým banským skalným trhavinám patria viaczložkové trhaviny, ktoré obsahujú zmes niekoľkých výbušnín, okysličovadiel, palív a pomocných prímiesí. Základnou zložkou sú nitroestery tzv. trhacie oleje, ktoré sú málo rozpustné vo vode a mrznú až pri teplote -22°C . Klasické trhaviny sú veľmi citlivé na náraz a preto sú v čistej forme nepoužiteľné. Podľa konzistencie ich delíme na:

- sypké
- poloplastické
- plastické

Modernizácia trhacích prác v podzemnom staviteľstve začala v európskej únii od roku 2000. Vývoj bol smerovaný k úplnému odklonu od používaných želatínových plastických trhavín na báze nitroesteru – dynamitov a ich nahradením viaczložkovými tekutými trhavinami. Ďalším vývojom emulzných trhavín sa iniciovala snaha zvýšiť ich výkonnosť tak, aby sa dali použiť rovnako ako dynamit k rozpojovaniu tvrdých skalných hornín pri razení tunelov.

Výhody moderných emulzných trhavín sú:

- efektívna výkonnosť a veľká detonačná rýchlosť pri vrtoch malého priemeru
- možnosť upraviť zloženie trhaviny a tým ovplyvniť jej vlastnosti podľa rozpojovanej horniny
- vylúčenie nepriaznivých fyziologických účinkov trhaviny na pracovníkov
- vysoká manipulačná bezpečnosť
- výrazné obmedzenie obsahu toxických látok vo výbuchových splodinách
- malá kontaminácia rúbaniny toxickými látkami
- vysoká hospodárnosť [1]

Rozdelenie moderných skalných emulzných trhavín používaných v podzemnom staviteľstve:

- náložkové
- načerpávané do vrtu [1]

3.4 Roznecovadlá

Roznecovadlá sú prostriedky slúžiace k roznetu výbušniny. Tieto prostriedky môžu spôsobiť priamo roznet výbušniny (elektrické pilule, roznetky, rozbušky), alebo sa nimi len prenáša výbuch, alebo sa nimi zapalujú základne roznecovadlá (bleskovnica).

Roznecovadlá delíme na dve základné časti:

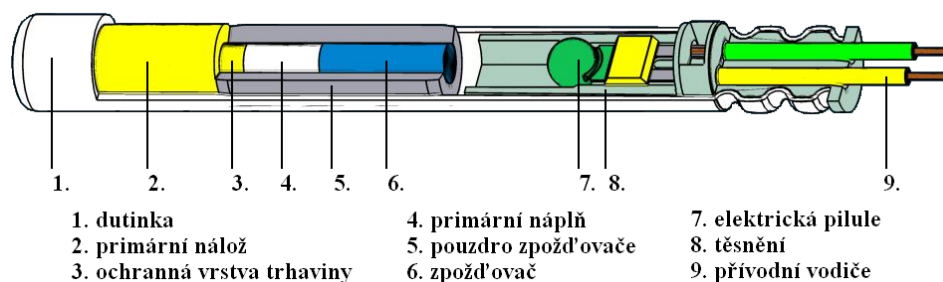
- elektrický palník – slúži k iniciácii zápalných rozbušiek a priamych trhavín
- rozbuška – slúži k iniciácii trhavín

V podzemnom staviteľstve sa v súčasnosti používajú roznety:

- elektrický
- elektronický
- bleskovicový

Elektrický roznet je v dnešnej dobe jedným s najpoužívanějších. Podstatou elektrického roznetu je priviesť na most rozbušky elektrickú energiu takého výkonu, aby pri prechode prúdu mostom bola dosiahnutá zápalná teplota pyrotechnickej náložke (cca 250°C).

Pre prevedenie elektrického roznetu potrebujeme: elektrickú rozbušku (Obr. 2), roznetnicu (zdroj el. prúdu), roznete vedenie (elektrický kábel, dvojlinka) a skúšobný prístroj (ohm meter).

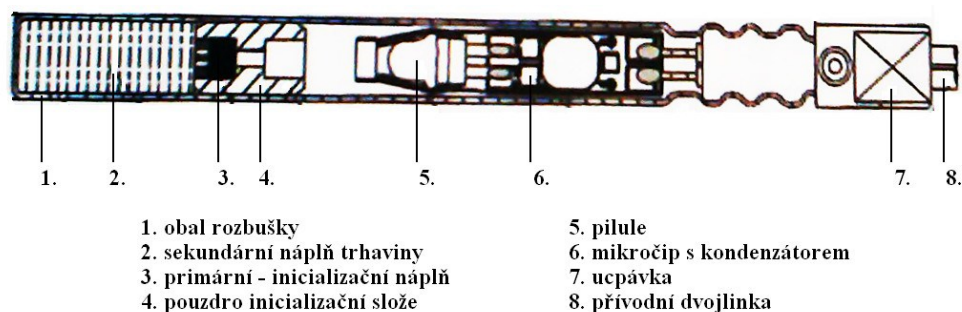


Obr. 2 Elektrická rozbuška (Zdroj: www.wikimedia.org)

Elektrická rozbuška může být okamžitá (mihavá) alebo časovaná. Okamžitá elektrická rozbuška vznikne priamym napojením elektrického palníku k rozbušce, v ktorej je umiestnená primárna a sekundárna nálož trhavin. Privedením elektrického prúdu do palníku sa zapáli zápalná pilulka a tým sa privedie okamžitý výbuch primárnej a zároveň sekundárnej nálož v rozbušce. V časovej elektrickej rozbušce sa vkladá medzi elektrický palník a trhavinu oneskorovacia vložka (pyrotechnický materiál horiaci konštantnou rýchlosťou). Dĺžkou oneskorovacej vložky sa riadi oneskorený výbuch rozbušky. Rozbušky zapojujeme: do série, paralelne alebo sérioparalelne.

Novšia varianta elektrických rozbušiek sú elektronické rozbušky (Obr. 3). Elektronická rozbuška nie je časovaná pomocou horenia pyrotechnických náloží, ale pomocou elektronickej časti rozbušky. Mikročip nastavený pomocou loggeru na ms, je nainštalovaný ešte pred zápalnou pilulkou. Elektrický prúd o intenzite len tisíciny ampéru sa po dobu niekoľko sekúnd akumuluje do kondenzátora zabudovaného v rozbušce, aby sa ním potom zapálila pilulka v dobe naprogramovanej elektronickej rozbušky.

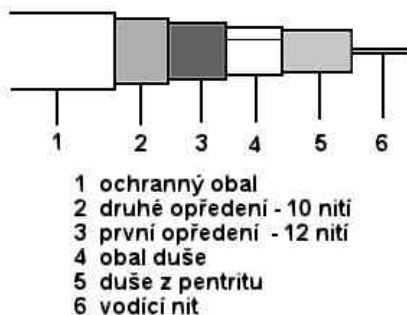
Výhodou elektronických rozbušiek je ich časovateľnosť s veľmi vysokou presnosťou a ich vysoká bezpečnosť práce. Hlavnou nevýhodou je ich neprimerane vysoká cena.



Obr. 3 Elektronická rozbuška [3]

Základným prostriedkom bleskovicového roznetu je bleskovice alebo mikrobleskovice. Klasická bleskovica sa skladá z textilnej hadice chránenej proti vlhkosti plastovým plášťom

(Obr. 4). K náplní bleskovice sa dnes používa pentrit, pentonil a niekedy hexogen. K výbuchu sa bleskovica privádza pomocou rozbušky alebo špeciálnym zapal'ovačom. Bleskovica prenáša výbuch rýchlosťou 5000 až 7500 m/s.



Obr. 4 Bleskovice (Zdroj: www.hornictvi.info)

Roznet sa uskutočňuje pomocou špeciálnej odpaľovacej pištole. Pri odpale pomocou niekoľkých hadíc sa používa rozdeľovač, do ktorého je zapojený väčší počet hadíc, ktoré sa odpaľujú zápalnou hadicou pomocou nálože. Do systému je možné zakomponovať aj oneskorovač.

U trhacích prác v tuneloch je bleskovica najčastejšie využívaná do obrysových vrtov s veľmi dobrými výsledkami. Nevýhodou je jej negatívna kyslíková bilancia, ktorá zvyšuje koncentráciu škodlivín v ovzduší po výbuchu. [1]

3.5 Pomôcky pre trhacie práce

Pomôcky pre trhacie práce sú v podstate prostriedky alebo zariadenia, ktoré prichádzajú do styku s výbušninou, pôsobia na ňu svojimi chemickými a fyzikálnymi vlastnosťami a sú neoddeliteľnou súčasťou trhacích prác. Medzi hlavné pomôcky radíme roznetnice, kontrolné meracie prístroje, vodiče, upchávku a pomôcky pre nabíjanie.

Roznetnice sú prenosným zdrojom energie, určeným pre roznet roznetovadiel. Roznetnice delíme na roznetnice pre elektrický a neelektrický roznet.

Roznetnice pre elektrický roznet sa delia konštrukčne na dynamo elektrické a kondenzátorové. Pri dynamo elektrických roznetniciach je zdrojom elektrického prúdu dynamo vstavané v roznetnici. Dnes sa už nepoužívajú a nevyrábajú. U kondenzátorových roznetníc je zdrojom elektrického prúdu induktor alebo batéria, pomocou ktorej sa nabíja. V dnešnej dobe je to najpoužívanější druh roznetníc (Obr. 5).



Obr. 5 Roznetnice DBR – 12 [3]

Roznetnice pre neelektrický roznet sa delia konštrukčne na mechanické a iskrové. Mechanické roznetnice využívajú k iniciácii detonačnú trubicu neelektrických rozbušiek rázovou vlnou. Vlna vznikne výbuchom akustického náboja z upravenej signalizačnej pištole. Iskrové roznetnice využívajú k iniciácii detonačnej trubice neelektrické rozbušky elektrického výboja.

Prístroje pre kontrolu pri elektrickom roznete slúžia na bezpečnosť a kontrolovateľnosť správnosti zapojenia roznetného vedenia. Kontrola sa realizuje pomocou elektrického odporu vodičov rozbušiek, pripojovacích vodičov a ďalších prvkov, zapojených do roznetnej siete. Meranie sa uskutočňuje zásadne v úkryte. Pre meranie sa používajú meracie prístroje – ohmmetre. Všetky prístroje musia byť schválené pre použitie pri trhacích prácach.

Skúšačky roznetníc sú prístroje, určené pre kontrolu napätia elektrického prúdu a kapacity kondenzátorov roznetníc.

Rýchlospojky sa využívajú pre spojenie prírodných vodičov a zároveň slúžia ako ich izolácia. V dnešnej dobe sa používajú rýchlospojky typu TEK 2-P a UY2-P, ktoré sa nasunú na neodizolované vodiče a spojenie sa prevádza pomocou stlačenia rýchlospojky kliešťami.

Vodiče slúžia ako prostriedok elektrického roznetu, aby sme mohli uskutočniť odstrel z bezpečnej vzdialenosti. Základným parametrom je dostatočná elektrická pevnosť vzhľadom k napätiu použitej roznetnice. V praxi sa najčastejšie využíva NCY-PK 1 (jednožilový) a NCY-PK 2 (dvojžilový).

Upchávka zaplňuje zvyšné miesto medzi ústím vrtu a náložou, prípadne sa používa na delenie náloží. Jej funkciou je zabrániť predčasnému úniku energie do atmosféry pred vykonaním práce, zvyšuje napätie a dĺžku tlakovej fázy výbuchu, množstvo energie odovzdanej masívu a redukuje zvukový efekt spolu s rozletom horniny. Bežne sa používa upchávka piesková, ílová, vodná alebo zmes ílu a piesku. Musí byť ľahko spracovateľná a lacná. [1]

4. Súčasný stav riešeného územia

Riešené územie sa nachádza na severe Slovenska, na novobudovanom úseku diaľnice pri Žiline. Je to najdlhšia diaľnica na Slovensku s označením D1, na ktorej sa razí viac tunelov. Jeden z týchto tunelov je predmetom riešenia bakalárskej práce.

4.1 Diaľnica D1

Diaľnica D1 (Obr. 6) má po svojom ukončení spojiť Bratislavu s hraničným priechodom Vyšné Nemecké - Užhorod na štátnej hranici Ukrajina. Diaľnica prechádza cez Trnavu, Trenčín, Žilinu, Martin, Poprad, Prešov, Košice a Michalovce. Je súčasťou vetvy paneurópskeho koridoru s trasou Terst – Bratislava – Žilina – Košice – Užhorod – Ľvov a európskych ciest E50, E58, E75, E442 a E571.

Práce na diaľnici D1 boli zahájené v roku 1972 s celkovou dĺžkou 515,419 kilometra, v súčasnosti je v prevádzke 345,509 kilometra čo predstavuje 67%.



Obr. 6 Diaľnica D1 [8]

Výstavba diaľnice je obzvlášť náročná v kopcovitom teréne medzi Žilinou a Prešovom. V tomto úseku sa bude nachádzať až jedenásť tunelov s celkovou dĺžkou skoro 27 kilometrov. Dvanásť tunel Dargov (1 050 m) bude východne od Košíc. V súčasnosti sú v prevádzke štyri tunely, a to Tunel Branisko (4 975 m), Tunel Lučivná (250 m), Tunel Bôrik (999 m) a Tunel

Šibeník (591 m). Vo výstavbe sa nachádzajú Tunel Čebrať (2 026 m), Tunel Žilina (687 m), Tunel Višňové (7 520 m) a Tunel Ovčiarsko (2 367 m).

4.2 Tunel Ovčiarsko

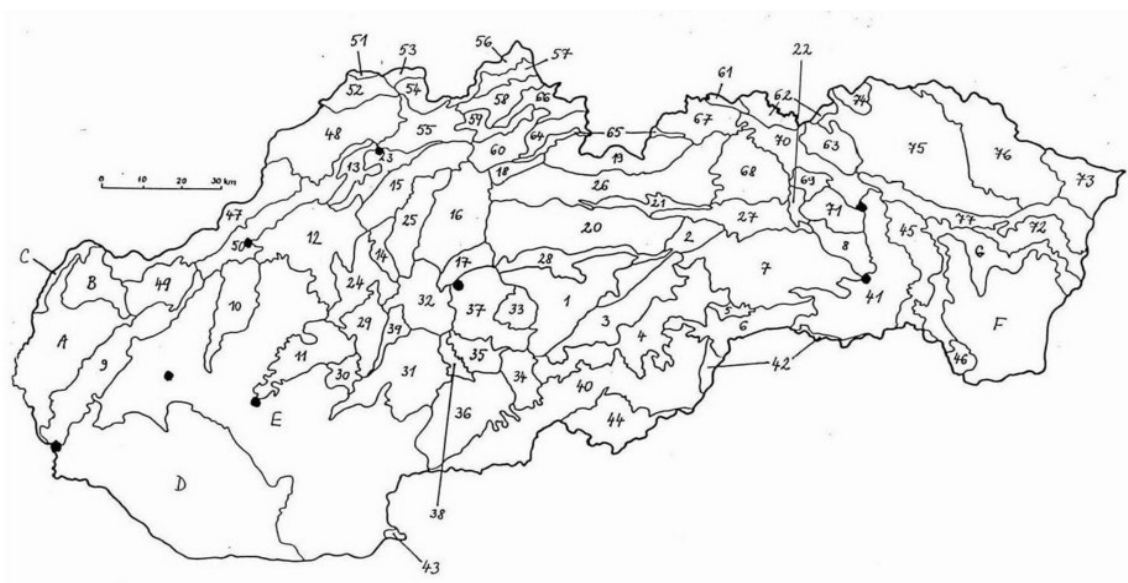
Tento tunel je súčasťou diaľničného úseku D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka. Tunel je navrhnutý kategórie 2T -8,0 podľa STN 73 7507 s jednosmernou premávkou rýchlosťou 80km/hod. Tunel je tvorený z dvoch samostatných tunelových rúr, každá pre jeden jazdný pruh. Podľa dĺžkovej kategórie, sa tunel zaraďuje medzi stredne dlhé tunely. Dĺžka severnej tunelovej rúry je 2 300 m a dĺžka južnej tunelovej rúry dosahuje 2 320 m razenej časti. Vzdialenosť medzi osami tunelových rúr v priečnom prepojení sa pohybuje od 43,5 do 45,5 m. Priečny sklon je od 0° do 4,7°, s počiatkom z oboch strán portálov so sklonom 2,5°. Súčasťou komplexu budú tri prejazdne a päť prechodných priečných prepojení, ktoré budú slúžiť ako únikové cesty spoločne so šiestimi jednostrannými núdzovými zálivmi.



Obr. 7 Tunel Ovčiarsko

4.2.1 Geologické pomery

Riešený tunel sa nachádza v sústave Alpsko-himalájska, podsústave Karpaty, provincii Západné Karpaty, subprovincii Vnútorne Západné Karpaty, oblasti Fatransko-tatranská, Žilinská kotlina (na mape č.23). Celkový úsek má reliéf kotlinových pahorkatín so zosuvnými svahmi a negatívnou morfoštruktúrou. Sklon v portálových častiach je 6° až 14°.



Obr. 8 Geomorfologická mapa [9]

Žilinská kotlina je ohraničená zo západu Súľovskými vrchmi, z juhu severnou časťou Strážovských vrchov, z východu Malou Fatrou (podcelkom Lúčanská Fatra) a zo severu Kysuckou vrchovinou. Jej výplň tvoria súvrstvia vnútrokarpatského paleogénu v slede (od spodu) - zlepenkové, ílovcovo - pieskovcové a pieskovcové. Súľovské vrchy sú budované predovšetkým zlepenčovým vývojom a bradlovým pásomom, severné výbežky Strážovských vrchov sedimentami chočského a krížňanského príkrovu. Malá Fatra má kryštallické jadro tvorené kryštallickými bridlicami a granitoidnými horninami. Zo strany Žilinskej kotliny ho lemuje mladopaleozoický a mezozoický obal (perm, obalové mezozoikum a krížňanská jednotka).

4.2.2 Hydrogeologické pomery

Pri razení je predpokladaný prítok v rovnakých zónach horninového masívu, najmä však z južnej tunelovej rúry. Počas razenia je predpokladaný okamžitý prítok vo výdatnosti nad 20 l/s. Po vyrazení sa prítok ustáli a zníži na 10 l/s až 20 l/s, v období zrážok a topenia snehu je

rátané s prítokom do 30 l/s. U východného portálu sú nepriaznivé hydrogeologické pomery. V zosuvných sedimentoch je akumulovaná podzemná voda s napätou hladinou, ktorá negatívne ovplyvňuje vlastnosti hornín. Situácia bola z časti zlepšená pomocou odvodňovacích vrtov VV – 1, VV - 2 a drenážou v prieskumnej štôle. Počas razenia je doporučené vybudovať systém odvodňovacích horizontálnych vrtov do masívu južne od STR a JTR v zavodnených zónach. [10]

4.2.3 Geotechnické hodnotenie a rozdelenie masívu do geotechnických typov

V etape reinterpretácie výsledkov prieskumu pre spracovanie dokladov boli vyčlenené geotechnické bloky združené a masív bol charakterizovaný vyčlenenými geotechnickými úsekmi, ktoré boli označené symbolom G1 až G3m pričom symbol G0 reprezentoval portálové oblasti tunela. [5]

4.2.4 Spôsob razenia

Postup výstavby tunela je riadený metódou NRTM (Nová Rakúska tunelovacia metóda). Razenie tunela je navrhnuté s horizontálnym členením výrubu na kalotu, stupeň a dno. Princíp metódy spočíva v efektívnej kontrole deformačného procesu v okolí výrubu s cieľom mobilizovať jeho prirodzenú pevnosť. Pri použití NRTM sa uvažuje s nasledujúcim postupom: navrtanie vrtov a nabíjanie trhavinou, odstrel a následne odvetranie splodín, odbagrovanie a dotvarovanie diela, vystrojenie, vystuženie a následne zastriekanie betónom. Podľa vystrojovacej triedy sa určuje záber, v kalote od 1,3 m do 1,6 m a v stupni od 2,6 m do 5,2 m. Striekaný betón sa robí na 2 časti a to primárne ostenie hrúbky 200 mm a sekundárne hrúbky 100 mm. Súčasťou celej metódy je neustály monitoring horninového masívu. Kontrola horninového masívu je založená na pozorovaní výrubu, jeho inžiniersko-geologickej dokumentácii, meraní deformácií (konvergencií), extenzometrických meraniach a inklinometrickom a deformačnom meraní vrtov v okolí stavby.[10]

5. Trhacie práce tunela Ovčiarsko

Trhacie práce pri razení oboch tunelových rúr diaľničného tunela Ovčiarsko metódou NRTM v členení kalota, stupeň a dno sa predpokladajú realizovať prevažne v pevných skalných horninách, pri ktorých mechanické spôsoby rozpojovania horniny za použitia tunelového bagra už nebudú účinné a ekonomické. Hranicou pre predpokladané použitie trhacích prác je možné uvažovať pevnosť horniny v tlaku rozmedzí 50 MPa až 60 MPa. V portálových úsekoch sú trhacie práce použité v malom rozsahu. Trhacie práce musia byť prispôbené projektom stanoveným dĺžkam záberu podľa vystrojovacích tried.

Stavba je situovaná vo voľnej krajine s väčšou vzdialenosťou ako 500 m od akejkoľvek zástavby a preto trhacie práce nebudú do rozsahu výšky nadložia limitované z dôvodu náchylnosti okolia na zvýšenú seizmicitu. Rozsah trhacích prác a doporučené medzné nálože sú limitované dynamickou odolnosťou vlastných konštrukcií stavby, t.j. tunela s portálovými konštrukciami a časťami stavby. Tunelové rúry sú tvorené dvomi ostienami, primárne a sekundárne, s medziľahlou drenážou a ochrannou vrstvou a plošnou hydroizoláciou. Tvar konštrukcie je navrhnutý pre cyklické razenie.

Postup razenia v skalnom masíve bude závislý na triede výrubu a tomu zodpovedajúcemu záberu. Dĺžka záberu v kalote pre vystrojovaciu triedu 5 sa bude pohybovať v rozmedziach 1,3 m až 1,6 m. V zásade sa preráža kalota v popredí, tak aby razenie stupňa čo najmenej ovplyvňovalo razenie v čelbe kaloty. Čelba kaloty sa navráta podľa vŕtacej schémy na požadovanú dĺžku záberu. Zálom na vytvorenie ďalšej voľnej plochy je navrhnutý buď ako zbiehavý, klinový alebo priamy zálom valcový. Voľba najvhodnejšej varianty zálomu nebude závisieť na požadovanej dĺžke záberu ale na konfigurácii mikrotektonických línií v čelbe posudzovaných z hľadiska rozpojiteľnosti. Rozširovacie vrty sú rozmiestnené rovnomerne, aby každý rozširovací vrt odpovedal rovnakému rozpojenému objemu. Pri obrysovcích vrtov je dôležité dodržať presnosť rozloženia a zároveň je nevyhnutné, aby sa mierne odchyľovali z profilu tunela, tak aby sa profil razeného tunela nezmenšoval. Presné dodržanie geometrie rozloženia vrtov na čelbe je nevyhnutné pre získanie hladkého výlomu s minimálnym nežiaducim nadvýlomom. [5]

6. Návrh a postup trhacích prác pre diaľničný tunel

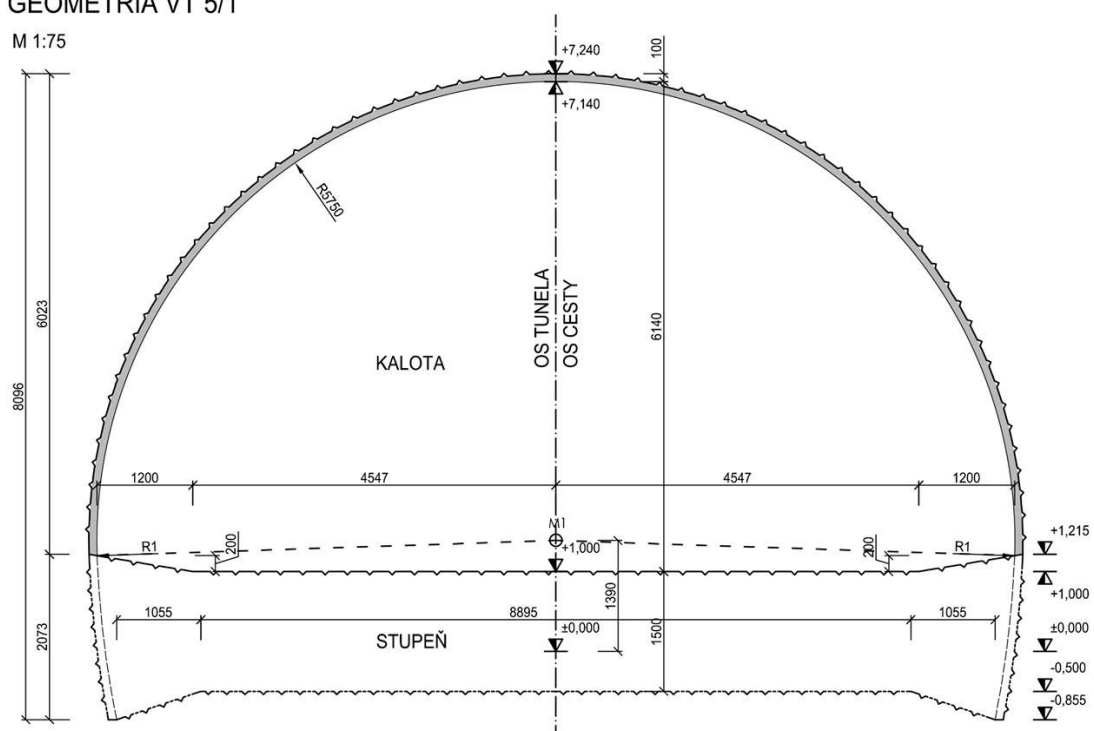
Predmetom výkonu trhacích prác malého rozsahu je razenie dvojúrovňového tunela. Trhacie práce malého rozsahu v zmysle Zákona o výbušninách, výbušných predmetoch a munícii č.58/2014 Zz podľa §45 odstavca 1 písmena a sa rozumejú trhacie práce kde hmotnosť celkovej nálože nepresiahne pri prácach v podzemí 400 kg trhavín. Dĺžka razenia je 2320 m. Razenie tunela bude prebiehať v zásadách NRTM – cyklické razenie. Cyklické razenie sa skladá z pracovných cyklov, ktoré sa neustále za sebou opakujú. Jedná sa o: zaistenie čela výrubu pred výrubom (predháňaný výstroj), samotný výrub (rozpojenie horniny trhavinami alebo mechanicky), odťaženie a dotvarovanie, zaistenie výrubu (vystrojenie, primárne a sekundárne ostenie s medzilahlou izoláciou a ďalším popisom v kapitole 4.2.4).

S výkonom trhacích prác sa uvažuje všade tam, kde to bude potrebné z dôvodu geologických a geotechnických pomerov horninového masívu. Jedná sa teda o triedy masívu kedy razenie pomocou strojov bude z ekonomického a časového hľadiska nedostačujúce. Tvar diela sa uvažuje otvorený s členením na stupeň a kalotu pre pevnejšie horniny a pre menej pevnejšie horniny sa uvažuje uzavretý tvar s kalotou, lavicou a stupňom.

Predmetom bakalárskej práce je návrh pasportu trhacích prác spolu s vrtnou schémou. Koeficient pevnosti horniny podľa Protodjakonova bol určený 9 na základe skutočnosti. Návrh trhacích prác je určený v jednej zo zvolených tried masívu, ktoré sú razené pomocou trhacích prác. Trieda masívu je 5/1 a zvolený záber podľa vystrojovacej triedy je 1,3 m až 1,6 m s použitím klinového zálomu pre kalotu 2,6 m až 5,2 m s priamym odstrelom pre stupeň. Pri návrhu projektu trhacích prác pre tunel Ovčiarsko sa predpokladá s elektrickým roznetným systémom DEM – S, s použitím roznetnice DBR 12. Pri trhacích prácach sa budú používať sypké trhaviny typu PERMONEX V19 a pre porovnanie želatínová trhavina typu PERUNIT E. Tvar a profil diela s podrobnými rozmermi je znázornený na obrázku číslu 9.

GEOMETRIA VT 5/1

M 1:75



PLOCHA VÝRUBU				
KALOTA	ds = 100 mm	A =	58,04	m²
STUPEŇ	ds = 100 mm	A =	18,06	m²
TEORETICKÁ			76,10	m²

Obr. 9 Profil diela tunela [5]

6.1 Výpočet kaloty tunela, záber 1,3 m, sypká trhavina

Návrh trhacích prác pre kalotu tunela o pričnom priereze 58,04 m².

Parametre zálohu:

$a = 400 \text{ mm}$	- rozteč zálomových dvojíc
$\alpha = 65^\circ$	- uhol zálomových vývrtov k rovine čelby
$N_z = 8$	- počet zálomových vývrtov
$x = 150 \text{ mm}$	- priblíženie vývrtov

6.1.1 Výpočet trhacích prác pre kalotu tunela

Záber zálohu z_z :

$k_p = 0,9 \text{ m}$ - koeficient využitia vývrtu

$$z_{sk} = z_z \cdot k_p \rightarrow z_z = \frac{z_{sk}}{k_p} = \frac{1,3}{0,9} = 1,44 \text{ m}$$

Stanovenie dĺžky zálomoveho vývrtu l_z :

$$l_z = \frac{z_z}{\sin \alpha} = \frac{1,44}{\sin 65} = 1,59 \text{ m}$$

Vzdialenosť ústia zálomových vývrtov od osi zálohu R :

$$R = \sqrt{l_z^2 - z_z^2} + 0,5 \cdot x = \sqrt{1,59^2 - 1,44^2} + 0,5 \cdot 0,15 = 0,75 \text{ m}$$

Voľba trhaviny : PERMONEX V19

Parametre trhaviny :

$$\gamma = 1050 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad - \text{ hustota}$$

$$V_0 = 0,905 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \quad - \text{ merný objem splodín}$$

$$R_T = 400 \text{ cm}^3 \quad - \text{ výbuch v trauzlu}$$

$$d_n = 0,03 \text{ m} \quad - \text{ priemer nálože}$$

$$Q_1 = 0,1 \text{ kg} \quad - \text{ hmotnosť nálože}$$

$$l_n = 0,135 \text{ m} \quad - \text{ dĺžka jednej nálože}$$

Stredná merná spotreba trhaviny q_{str} :

- podľa Protodjakonova I.

$$q_{\text{str},1} = \sqrt{\frac{f}{F_{\text{hr}}}} = \sqrt{\frac{9}{58,04}} = 0,39 \text{ kgm}^{-3}$$

- podľa Protodjakonova II.

$$q_{\text{str},2} = 0,5 \cdot \left(\sqrt{0,2f} + \frac{1}{\sqrt{F_{\text{hr}}}} \right)^2 = 0,5 \cdot \left(\sqrt{0,2 \cdot 9} + \frac{1}{\sqrt{58,04}} \right)^2 = 1,09 \text{ kgm}^{-3}$$

- podľa Ibrajeva

$$q_{\text{str},3} = \frac{\sqrt{f} - a\sqrt{F_{\text{hr}}}}{t} = \frac{9 - 0,275\sqrt{58,04}}{1,3} = 0,7 \text{ kgm}^{-3}$$

- podľa Pokrovského

$$q_{\text{str},4} = s_1 \cdot s_2 \cdot n \cdot e = 0,9 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot 1 = 0,85 \text{ kgm}^{-3}$$

$$n = \frac{6,5}{\sqrt{F_{\text{HR}}}} = \frac{6,5}{\sqrt{58,04}} = 0,85$$

s_1 - súčiniteľ rozpojiteľnosti horniny

s_2 - súčiniteľ štruktúry horniny v čelne

n - súčiniteľ upnutia horniny

e - koeficient pracovnej schopnosti trhaviny

- podľa Čuprunova

$$q_{\text{str},5} = m \left(\frac{0,6e\sqrt{f}}{\sqrt{x}} - 0,05\sqrt{f \cdot F_{\text{hr}}} \right) = 1 \left(\frac{0,6 \cdot 1 \cdot \sqrt{9}}{\sqrt{0,94}} - 0,05\sqrt{9 \cdot 58,04} \right) = 0,72 \text{ kgm}^{-3}$$

$$x = \frac{d_n}{32} = \frac{30}{32} = 0,94$$

m - koeficient počtu voľných plôch

x - koeficient vplyvu priemeru nálože

- podľa Langeforse

$$q_{\text{str},6} = \frac{14}{F_{\text{hr}}} + 0,8 = \frac{14}{58,04} + 0,8 = 1,04 \text{ kgm}^{-3}$$

- podľa OKR (VVUÚ)

$$q_{\text{str},7} = 1,85 \cdot m \cdot b \cdot c \cdot e \cdot k = 1,85 \cdot 3,34 \cdot 0,1349 \cdot 0,64 \cdot 0,84 \cdot 1,08 = 0,49 \text{ kgm}^{-3}$$

m - koeficient pevnosti horniny

b - koeficient veľkosti profilu diela

c - koeficient priemeru nálože trhaviny

e - koeficient pracovnej schopnosti trhaviny

k - koeficient vplyvu hustoty trhaviny

- podľa MHD (Rudné doly)

$$q_{\text{str},8} = q \cdot x \cdot y = 1,5 \cdot 0,8 \cdot 1,1 = 1,32 \text{ kgm}^{-3}$$

q - základná merná spotreba trhaviny

x - koeficient štruktúry horniny v čelbe

y - koeficient charakteru horniny

- podľa VŠB

$$q_{\text{str},9} = (\sqrt{f} + a\sqrt{F_{\text{hr}}}) \cdot \left(0,17 + \frac{67}{R_t}\right) \cdot Z_{\text{sk}} = (\sqrt{9} + 0,25\sqrt{58,04}) \cdot \left(0,17 + \frac{67}{400}\right) \cdot 1,3 = 2,16 \text{ kgm}^{-3}$$

$$q_{\text{str}} = \frac{\sum q_{\text{str},1-9}}{9} = \frac{0,39 + 1,09 + 0,7 + 0,85 + 0,72 + 1,04 + 0,49 + 1,32 + 2,16}{9} = 0,97 \text{ kgm}^{-3}$$

Merná spotreba trhaviny v zálome q_z :

$$q_z = \frac{q_{\text{str}} \cdot F_{\text{hr}} \cdot Z_z}{V_z + 0,6 \cdot (F_{\text{hr}} \cdot Z_z - V_z)} = \frac{0,97 \cdot 58,04 \cdot 1,44}{3,55 + 0,6 \cdot (58,04 \cdot 1,44 - 3,55)} = 1,57 \text{ kgm}^{-3}$$

$$V_z = \frac{2 \cdot R + x}{2} \cdot z_z \cdot a = \frac{2 \cdot 0,747 + 0,15}{2} \cdot 1,44 \cdot 3 = 3,55 \text{ kgm}^{-3}$$

V_z - objem klinu zálomu

Merná spotreba trhaviny v pomocných vrtov q_p :

$$q_p = 0,6 \cdot q_z = 0,6 \cdot 1,57 = 0,94 \text{ kgm}^{-3}$$

$$q_z > q_{\text{str}} > q_p \rightarrow 1,57 > 0,97 > 0,94 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Hmotnosť nálože v zálome Q_z :

$$Q_z = q_z \cdot V_z = 1,57 \cdot 3,55 = 5,59 \text{ kg}$$

Hmotnosť jednej zálomovej nálože Q_{1z} :

$$Q_{1z} = \frac{Q_z}{N_z} = \frac{5,5854}{8} = 0,6982 \text{ kg}$$

$$Q_{1z, \text{oprav}} = 0,7 \text{ kg}$$

Kontrola nabitia :

počet náloží. $l_n > 0,4 \cdot l_z \rightarrow 8,0,135 = 1,08 > 0,4 \cdot 1,59 = 0,64 \rightarrow$ vyhovuje

Opravená hmotnosť nálože v zálome $Q_{z, \text{opr}}$:

$$Q_{z, \text{opr}} = Q_{1z, \text{oprav}} \cdot N_z = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ kg}$$

Celkový počet vývrtov na čelbe N_c :

- podľa Protodjakonova I.

$$N_{c,1} = 2,7 \cdot \sqrt{\frac{f}{F_{hr}}} \cdot F_{hr} = 2,7 \cdot \sqrt{\frac{9}{58,04}} \cdot 58,04 = 61,71 \text{ ks}$$

- podľa Protodjakonova II.

$$N_{c,2} = \left(\sqrt{0,2 \cdot f} + \frac{1}{\sqrt{F_{hr}}} \right)^2 \cdot F_{hr} = \left(\sqrt{0,2 \cdot 9} + \frac{1}{\sqrt{58,04}} \right)^2 \cdot 58,04 = 125,9 \text{ ks}$$

- podľa Bogomolova

$$N_{c,3} = 2,3 \cdot \sqrt{\frac{f}{F_{hr}}} \cdot F_{hr} = 2,3 \cdot \sqrt{\frac{9}{58,04}} \cdot 58,04 = 52,57 \text{ ks}$$

- podľa koeficientu nabitia k_n :

$$N_{c,4} = \frac{4 \cdot q_{str} \cdot F_{hr}}{\pi \cdot d_n^2 \cdot \gamma \cdot k_n} = \frac{4 \cdot 0,97 \cdot 58,04}{\pi \cdot 0,03^2 \cdot 1050 \cdot 0,6} = 126,48 \text{ ks}$$

k_n - koeficient nabitia vývrtu

- podľa Dojčára

$$N_{c,5} = Q_{vrt} \cdot A = 1,3 \cdot 58,04 = 75,45 \text{ ks}$$

$$Q_{vrt} = \frac{23}{F_{hr}} + 1 \cdot \left(\frac{32}{D_{vrtu}} \right) = \frac{23}{58,04} + 1 \cdot \left(\frac{32}{36} \right) = 1,3 \text{ bm} \cdot \text{m}^{-3}$$

Q_{vrt} - merná spotreba vývrtov v čelbe

D_{vrtu} - priemer vývrtu

$$N_c = \frac{\sum N_{c,1-5}}{5} = \frac{61,71 + 125,9 + 52,57 + 126,48 + 75,45}{5} = 88,42 = 89 \text{ ks}$$

Počet pomocných vrtov na čelbe N_p :

$$N_p = N_c - N_z = 89 - 8 = 81 \text{ ks}$$

Hmotnosť nálože v pomocných vývrtach Q_p :

$$Q_p = q_p \cdot V_p = q_p (V_c - V_z) = q_p (F_{hr} \cdot z_z - V_z) = 0,94 \cdot (58,04 \cdot 1,44 - 3,55) = 75,52 \text{ kg}$$

Hmotnosť nálože v jednom pomocnom vývrte Q_{1p} :

$$Q_{1p} = \frac{Q_p}{N_p} = \frac{75,5211}{81} = 0,9324 \text{ kg}$$

$$Q_{1p, \text{oprav}} = 1 \text{ kg}$$

Opravená hmotnosť nálože v pomocných vrtov $Q_{p, \text{opr}}$:

$$Q_{p, \text{opr}} = Q_{1p, \text{oprav}} \cdot N_p = 1,81 = 81 \text{ kg}$$

Celková hmotnosť náloží Q_c :

$$Q_c = Q_{p, \text{opr}} + Q_{z, \text{opr}} = 81 + 5,6 = 86,6 \text{ kg}$$

Maximálny odpor v čelbe W_{max} :

$$W_{\text{max}} = \sqrt{\frac{1}{q_p}} = \sqrt{\frac{0,741}{0,9437}} = 0,79 \text{ m}$$

l - hmotnosť súvislej nálože o dĺžke 1 m

6.1.2 Elektrický roznet náloží pre kalotu tunela

Základne parametre a výpočet elektrického roznetu.

Parametre elektrických rozbušiek :

- názov : DEM - S
- materiál : CU
- dĺžka prívodného vedenia : $l_{\text{prív}} = 2 - 30 \text{ m}$
- merný odpor vodiča : $\rho = 0,0925 \text{ } \Omega/\text{m}$
- bezpečný prúd : $I = 0,45 \text{ A}$
- zážihový impulz : $L_{\text{aktivačný}} = 16 \text{ mJ}/\Omega$

Parametre elektrického vedenia :

- názov : NCY – PK 2 ϕ 0,8 mm
- materiál : CU
- dĺžka : $l = 200 \text{ m}$
- priemer : $d = 0,8 \text{ mm}$
- merný odpor vodiča : $\rho = 0,07 \text{ } \Omega/\text{m}$

Parametre roznetnice :

- názov : DBR 12
- napätie : $U = 1200 \text{ V}$
- kapacita : $C = 25 \text{ } \mu\text{F}$

Odpor hlavného vedenia R_{HV} :

$$R_{\text{HV}} = \rho \cdot l = 0,07 \cdot 200 = 14 \text{ } \Omega$$

Odpor jednej rozbušky R_1 :

$$R_1 = R_m + 2 \cdot \rho \cdot l_{\text{prív}} = 0,55 + 2 \cdot 0,0925 \cdot 3 = 1,11 \text{ } \Omega$$

Odpor všetkých rozbušiek R_p :

$$R_p = N \cdot R_1 = 89 \cdot 1,105 = 98,35 \text{ } \Omega$$

Časová vyvíjajúca konštanta kondenzátoru τ :

$$\tau = C \cdot \left(R_{HV} + \frac{R_p}{n^2} \right) = 25 \cdot 10^{-6} \cdot \left(14 + \frac{98,35}{1^2} \right) = 0,0028 \text{ s}$$

Zážihový impulz L_z :

$$L_z = \frac{U^2 \cdot C}{2 \cdot (n^2 \cdot R_{HV} + R_p)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot t_z}{\tau}} \right) = \frac{1200^2 \cdot 25 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot (1^2 \cdot 14 + 98,35)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot 0,004}{0,0028}} \right) = 0,15 \text{ J}\Omega^{-1}$$

Výpočet bezpečného roznetu B :

$$B = \frac{L_z}{L_{\text{aktivačný}}} \geq 1$$

$$B = \frac{150}{16} = 9,375 \geq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.1.3 Pasport a vrtná schéma trhacích prác pre kalotu tunela

Pasport trhacích prác pre kalotu tunela, pri zábere 1,3 m je rozpísaný zo všetkými potrebnými informáciami v tabuľke číslo 1. V tabuľke číslo 2 je znázornený nabíjací plán s postupným časovaním. Vrtná schéma pre kalotu je vyobrazená na obrázku číslo 10.

1.	Profil diela		Kalota tunela
2.	Hrubý profil = F_{HR}	m ²	58,04
3.	Záber	m	1,3
4.	Vylom	m ³	75,45
5.	Typ zálomu		zbiehavý klinový
6.	Priemer vývrtu	mm	36
7.	Počet zálomových vrtov	ks	8
8.	Počet rozširovacích a obrysových vrtov	ks	81
9.	Počet vrtov celkom	ks	89
10.	Hmotnosť nálože v zálomových vrtov	kg/vrt	0,7
11.	Hmotnosť nálože v roz. a obrys. vrtov	kg/vrt	1
12.	Celková hmotnosť trhaviny	kg	5,6+81
13.	Celková hmotnosť trhaviny	kg	86,6
14.	Typ trhaviny		PERMONE X V19
15.	Typ rozbušiek		DEM - S
16.	Celkový počet rozbušiek	ks	89
17.	Zapojenie pri elektrickom roznete		Zapojené v sérii
18.	Manipulačný a bezpečný okruh	m	200

Tab. 1 Pasport trhacích prác pre kalotu tunela 1,3 m

Typ	Časový stupeň	Počet vrtov	Nálož v kg		Vrtov celkom	Hmotnosť celkom
			1 vrt	1. čas stupeň		
DEM - S	1	8	0,7	5,6	89	86,6
	2	7	1	7,0		
	3	6	↓	6,0		
	4	6		6,0		
	5	6		6,0		
	6	6		6,0		
	7	8		8,0		
	8	5		5,0		
	9	13		13,0		
	10	8		8,0		
	11	10		10,0		
	12	6		6,0		

Tab. 2 Návrh nabíjacieho plánu pre kalotu tunela 1,3 m

6.2 Výpočet kaloty tunela, záber 1,6 m, sypká trhavina

6.2.1 Stanovenie trhacích prác pre kalotu tunela

Návrh trhacích prác pre kalotu tunela o priečnom priereze 58,04 m².

Parametre záloму:

- a = 400 mm - rozteč zálomových dvojíc
- $\alpha = 65^\circ$ - uhol zálomových vývrtov k rovine čelby
- $N_z = 8$ - počet zálomových vývrtov
- x = 150 mm - priblíženie vývrtov

Záber zálomu z_z :

- $k_p = 0,9$ m - koeficient využitia vývrtu

$$z_{sk} = z_z \cdot k_p \rightarrow z_z = \frac{z_{sk}}{k_p} = \frac{1,6}{0,9} = 1,78 \text{ m}$$

Stanovenie dĺžky zálomoveho vývrtu l_z :

$$l_z = \frac{z_z}{\sin \alpha} = \frac{1,78}{\sin 65} = 1,96 \text{ m}$$

Vzdialenosť ústia zálomových vývrtov od osi zálomu R :

$$R = \sqrt{l_z^2 - z_z^2} + 0,5 \cdot x = \sqrt{1,96^2 - 1,78^2} + 0,5 \cdot 0,15 = 0,91 \text{ m}$$

Voľba trhaviny : PERMONE X V19

Parametre trhaviny :

- $\gamma = 1050 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ - hustota
- $V_0 = 0,905 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ - merný objem splodín
- $R_T = 400 \text{ cm}^3$ - výbuch v trauzlu
- $d_n = 0,03 \text{ m}$ - priemer nálože
- $Q_1 = 0,1 \text{ kg}$ - hmotnosť nálože
- $l_n = 0,135 \text{ m}$ - dĺžka jednej nálože

Stredná merná spotreba trhaviny q_{str} :

$q_{str,1-8}$ – prevzaté s predchádzajúceho výpočtu (kapitola 6.1.1)

- podľa VŠB

$$q_{\text{str},9} = (\sqrt{f} + a\sqrt{F_{\text{hr}}}) \cdot \left(0,17 + \frac{67}{R_t}\right) \cdot Z_{\text{sk}} = (\sqrt{9} + 0,25\sqrt{58,04}) \left(0,17 + \frac{67}{400}\right) \cdot 1,6 = 2,65 \text{ kgm}^{-3}$$

$$q_{\text{str}} = \frac{\sum q_{\text{str},1-9}}{9} = \frac{0,39 + 1,09 + 0,7 + 0,85 + 0,72 + 1,04 + 0,49 + 1,32 + 2,65}{9} = 1,03 \text{ kgm}^{-3}$$

Merná spotreba trhaviny v zálome q_z :

$$q_z = \frac{q_{\text{str}} \cdot F_{\text{hr}} \cdot Z_z}{V_z + 0,6 \cdot (F_{\text{hr}} \cdot z_z - V_z)} = \frac{1,03 \cdot 58,04 \cdot 1,78}{5,23 + 0,6 \cdot (58,04 \cdot 1,78 - 5,23)} = 1,65 \text{ kgm}^{-3}$$

$$V_z = \frac{2 \cdot R + x}{2} \cdot z_z \cdot a = \frac{2 \cdot 0,91 + 0,15}{2} \cdot 1,78 \cdot 3 = 5,23 \text{ kgm}^{-3}$$

V_z - objem klinu zálomu

Merná spotreba trhaviny v pomocných vrtov q_p :

$$q_p = 0,6 \cdot q_z = 0,6 \cdot 1,6537 = 0,99 \text{ kgm}^{-3}$$

$$q_z > q_{\text{str}} > q_p \rightarrow 1,65 > 1,03 > 0,99 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Hmotnosť nálože v zálome Q_z :

$$Q_z = q_z \cdot V_z = 1,65 \cdot 5,23 = 8,65 \text{ kg}$$

Hmotnosť jednej zálomovej nálože Q_{1z} :

$$Q_{1z} = \frac{Q_z}{N_z} = \frac{8,6541}{8} = 1,0819 \text{ kg}$$

$$Q_{1z,\text{oprav}} = 1,1 \text{ kg}$$

Kontrola nabitia :

$$\text{počet náloží. } l_n > 0,4 \cdot l_z \rightarrow 8 \cdot 0,135 = 1,08 > 0,4 \cdot 1,96 = 0,79 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Opravená hmotnosť nálože v zálome $Q_{z,\text{opr}}$:

$$Q_{z,\text{opr}} = Q_{1z,\text{oprav}} \cdot N_z = 1,1 \cdot 8 = 8,8 \text{ kg}$$

Celkový počet vývrtov na čelbe N_c :

$N_{c,1-3,5}$ – prevzaté s predchádzajúceho výpočtu (kapitola 6.1.1)

- podľa koeficientu nabitia k_n :

$$N_{c,4} = \frac{4 \cdot q_{\text{str}} \cdot F_{\text{hr}}}{\pi \cdot d_n^2 \cdot \gamma \cdot k_n} = \frac{4 \cdot 1,03 \cdot 58,04}{\pi \cdot 0,03^2 \cdot 1050 \cdot 0,6} = 133,68 \text{ ks}$$

$$N_c = \frac{\sum N_{c,1-5}}{5} = \frac{61,71 + 125,9 + 52,57 + 133,68 + 75,45}{5} = 89,9 = 90 \text{ ks}$$

Počet pomocných vrtov na čelbe N_p :

$$N_p = N_c - N_z = 90 - 8 = 82 \text{ ks}$$

Hmotnosť nálože v pomocných vývrtoch Q_p :

$$Q_p = q_p \cdot V_p = q_p (V_c - V_z) = q_p (F_{\text{hr}} \cdot z_z - V_z) = 0,99(58,04 \cdot 1,78 - 5,23) = 97,31 \text{ kg}$$

Hmotnosť nálože v jednom pomocnom vývrte Q_{1p} :

$$Q_{1p} = \frac{Q_p}{N_p} = \frac{97,3139}{82} = 1,19 \text{ kg}$$

$$Q_{1p,\text{oprav}} = 1,2 \text{ kg}$$

Opravená hmotnosť nálože v pomocných vrtov $Q_{p,\text{opr}}$:

$$Q_{p,\text{opr}} = Q_{1p,\text{oprav}} \cdot N_p = 1,2 \cdot 82 = 98,4 \text{ kg}$$

Celková hmotnosť náloží Q_c :

$$Q_c = Q_{p,\text{opr}} + Q_{z,\text{opr}} = 98,4 + 8,8 = 107,2 \text{ kg}$$

Maximálny odpor v čelbe W_{max} :

$$W_{\text{max}} = \sqrt{\frac{l}{q_p}} = \sqrt{\frac{0,741}{0,9922}} = 0,86 \text{ m}$$

l - hmotnosť súvislej nálože o dĺžke 1 m

6.2.2 Elektrický roznet náloží pre kalotu tunela

Základné parametre a výpočet elektrického roznetu.

Parametre elektrických rozbušiek :

- názov : DEM - S
- materiál : CU
- dĺžka prírodného vedenia : $l_{\text{prív}} = 2 - 30 \text{ m}$
- merný odpor vodiča : $\rho = 0,0925 \text{ } \Omega/\text{m}$
- bezpečný prúd : $I = 0,45 \text{ A}$
- zážihový impulz : $L_{\text{aktivačný}} = 16 \text{ mJ}/\Omega$

Parametre elektrického vedenia :

- názov : NCY – PK 2 ϕ 0,8 mm
- materiál : CU
- dĺžka : $l = 200 \text{ m}$
- priemer : $d = 0,8 \text{ mm}$
- merný odpor vodiča : $\rho = 0,07 \text{ } \Omega/\text{m}$

Parametre roznetnice :

- názov : DBR 12
- napätie : $U = 1200 \text{ V}$
- kapacita : $C = 25 \text{ } \mu\text{F}$

Odpor hlavného vedenia R_{HV} :

$$R_{\text{HV}} = \rho \cdot l = 0,07 \cdot 200 = 14 \text{ } \Omega$$

Odpor jednej rozbušky R_1 :

$$R_1 = R_m + 2 \cdot \rho \cdot l_{\text{prív}} = 0,55 + 2 \cdot 0,0925 \cdot 3 = 1,11 \text{ } \Omega$$

Odpor všetkých rozbušiek R_p :

$$R_p = N \cdot R_1 = 90 \cdot 1,11 = 99,45 \text{ } \Omega$$

Časová vyvíjajúca konštanta kondenzátoru τ :

$$\tau = C \cdot \left(R_{\text{HV}} + \frac{R_p}{n^2} \right) = 25 \cdot 10^{-6} \cdot \left(14 + \frac{99,45}{1^2} \right) = 0,0028 \text{ s}$$

Zážihový impulz L_z :

$$L_z = \frac{U^2 \cdot C}{2 \cdot (n^2 \cdot R_{HV} + R_p)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot t_z}{\tau}}\right) = \frac{1200^2 \cdot 25 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot (1^2 \cdot 14 + 96,6)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot 0,004}{0,0028}}\right) = 0,15 \text{ J}\Omega^{-1}$$

Výpočet bezpečného roznetu B :

$$B = \frac{L_z}{L_{\text{aktivačný}}} \geq 1$$


$$B = \frac{150}{16} = 9,375 \geq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.2.3 Pasport a vrtná schéma trhacích prác pre kalotu tunela

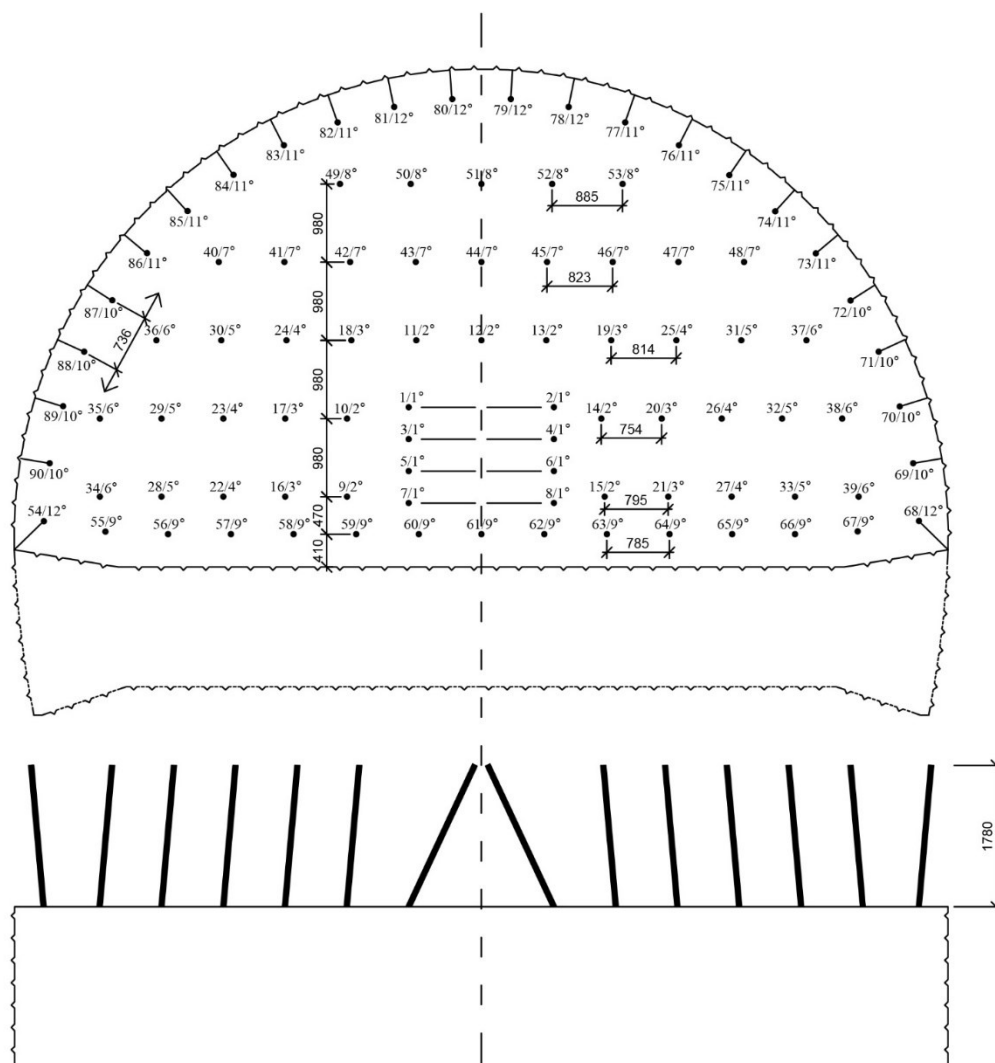
Pasport trhacích prác pre kalotu tunela, pri zábere 1,6 m je rozpísaný so všetkými potrebnými informáciami v tabuľke číslo 3. V tabuľke číslo 4 je znázornený nabíjací plán s postupným časovaním. Vrtná schéma pre kalotu je vyobrazená na obrázku číslo 11.

1.	Profil diela		Kalota tunela
2.	Hrubý profil = F_{HR}	m ²	58,04
3.	Záber	m	1,6
4.	Vylom	m ³	92,86
5.	Typ zálomu		zbiehavý klinový
6.	Priemer vývrtu	mm	36
7.	Počet zálomových vrtov	ks	8
8.	Počet rozširovacích a obrysových vrtov	ks	82
9.	Počet vrtov celkom	ks	90
10.	Hmotnosť nálože v zálomových vrtov	kg/vrt	1,1
11.	Hmotnosť nálože v roz. a obrys. vrtoch	kg/vrt	1,2
12.	Celková hmotnosť trhaviny	kg	8,8+98,4
13.	Celková hmotnosť trhaviny	kg	107,2
14.	Typ trhaviny		PERMONE X V19
15.	Typ rozbušiek		DEM - S
16.	Celkový počet rozbušiek	ks	90
17.	Zapojenie pri elektrickom roznete		Zapojené v sérii
18.	Manipulačný a bezpečný okruh	m	200

Tab. 3 Pasport trhacích prác pre kalotu tunela 1,6 m

Typ	Časový stupeň	Počet vrtov	Nálož v kg		Vrty celkom	Hmotnosť celkom
			1 vrt	1. čas stupeň		
DEM - S	1	8	1,1	8,8	90	107,2
	2	7	1,2	8,4		
	3	6		7,2		
	4	6		7,2		
	5	6		7,2		
	6	6		7,2		
	7	9		10,8		
	8	5		6,0		
	9	13		15,6		
	10	8		9,6		
	11	10		12,0		
	12	6		7,2		

Tab. 4 Návrh nabíjacieho plánu pre kalotu tunela 1,6 m



Obr. 121 Vrtná schéma pre kalotu tunela, záber 1,6 m

6.3 Výpočet stupňa tunela, záber 2,6 m, sypká trhavina

6.3.1 Výpočet trhacích prác pre stupeň tunela

Návrh trhacích prác pre stupeň tunela o pričnom priereze 18,06 m².

Voľba trhaviny : PERMONE X V19

Parametre trhaviny :

$$\gamma = 1050 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad - \text{ hustota}$$

$$V_0 = 0,905 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \quad - \text{ merný objem splodín}$$

$$R_T = 400 \text{ cm}^3 \quad - \text{ výbuch v trauzlu}$$

$$d_n = 0,03 \text{ m} \quad - \text{ priemer nálože}$$

$$Q_1 = 0,1 \text{ kg} \quad - \text{ hmotnosť nálože}$$

$$l_n = 0,135 \text{ m} \quad - \text{ dĺžka jednej nálože}$$

Stredná merná spotreba trhaviny q_{str} :

- podľa Protodjakonova I.

$$q_{\text{str},1} = \sqrt{\frac{f}{F_{\text{hr}}}} = \sqrt{\frac{9}{18,06}} = 0,71 \text{ kgm}^{-3}$$

- podľa Protodjakonova II.

$$q_{\text{str},2} = 0,5 \cdot \left(\sqrt{0,2f} + \frac{1}{\sqrt{F_{\text{hr}}}} \right)^2 = 0,5 \cdot \left(\sqrt{0,2 \cdot 9} + \frac{1}{\sqrt{18,06}} \right)^2 = 1,24 \text{ kgm}^{-3}$$

- podľa Ibrajeva

$$q_{\text{str},3} = \frac{\sqrt{f} - a \cdot \sqrt{F_{\text{hr}}}}{t} = \frac{9 - 0,275 \sqrt{18,06}}{1,3} = 1,41 \text{ kgm}^{-3}$$

- podľa Pokrovského

$$q_{\text{str},4} = s_1 \cdot s_2 \cdot n \cdot e = 0,9 \cdot 1,1 \cdot 1,5295 \cdot 1 = 1,51 \text{ kgm}^{-3}$$

$$n = \frac{6,5}{\sqrt{F_{\text{HR}}}} = \frac{6,5}{\sqrt{18,06}} = 1,53$$

s_1 - súčiniteľ rozpojiteľnosti horniny

s_2 - súčiniteľ štruktúry horniny v čelne

n - súčiniteľ upnutia horniny

e - koeficient pracovnej schopnosti trhaviny

- podľa Čuprunova

$$q_{\text{str},5} = m \left(\frac{0,6e\sqrt{f}}{\sqrt{x}} - 0,05\sqrt{f \cdot F_{\text{hr}}} \right) = 1 \left(\frac{0,6 \cdot 1 \cdot \sqrt{9}}{\sqrt{0,94}} - 0,05\sqrt{9 \cdot 18,06} \right) = 1,22 \text{ kgm}^{-3}$$

$$x = \frac{d_n}{32} = \frac{30}{32} = 0,94$$

m - koeficient počtu voľných plôch

x - koeficient vplyvu priemeru nálože

- podľa Langeforse

$$q_{\text{str},6} = \frac{14}{F_{\text{hr}}} + 0,8 = \frac{14}{18,06} + 0,8 = 1,58 \text{ kgm}^{-3}$$

- podľa OKR (VVUÚ)

$$q_{\text{str},7} = 1,85 \cdot m \cdot b \cdot c \cdot e \cdot k = 1,85 \cdot 3,34 \cdot 0,2397 \cdot 0,64 \cdot 0,84 \cdot 1,08 = 0,86 \text{ kgm}^{-3}$$

m - koeficient pevnosti horniny

b - koeficient veľkosti profilu diela

c - koeficient priemeru nálože trhaviny

e - koeficient pracovnej schopnosti trhaviny

k - koeficient vplyvu hustoty trhaviny

- podľa MHD (Rudné doly)

$$q_{\text{str},8} = q \cdot x \cdot y = 1,5 \cdot 0,8 \cdot 1,1 = 1,32 \text{ kgm}^{-3}$$

q - základná merná spotreba trhaviny

x - koeficient štruktúry horniny v čelbe

y - koeficient charakteru horniny

- podľa VŠB

$$q_{\text{str},9} = (\sqrt{f} + a\sqrt{F_{\text{hr}}}) \cdot \left(0,17 + \frac{67}{R_t} \right) \cdot Z_{\text{sk}} = (\sqrt{9} + 0,25\sqrt{18,06}) \left(0,17 + \frac{67}{400} \right) \cdot 2,6 = 3,57 \text{ kgm}^{-3}$$

$$q_{\text{str}} = \frac{\sum q_{\text{str},1-9}}{9} = \frac{0,71 + 1,24 + 1,41 + 1,51 + 1,22 + 1,57 + 0,84 + 1,32 + 3,57}{9} = 1,49 \text{ kgm}^{-3}$$

Celkový počet vývrtov na čelbe N_c :

- podľa Protodjakonova I.

$$N_{c,1} = 2,7 \cdot \sqrt{\frac{f}{F_{hr}}} \cdot F_{hr} = 2,7 \cdot \sqrt{\frac{9}{18,06}} \cdot 18,06 = 34,42 \text{ ks}$$

- podľa Protodjakonova II.

$$N_{c,2} = \left(\sqrt{0,2 \cdot f} + \frac{1}{\sqrt{F_{hr}}} \right)^2 \cdot F_{hr} = \left(\sqrt{0,2 \cdot 9} + \frac{1}{\sqrt{18,06}} \right)^2 \cdot 18,06 = 44,91 \text{ ks}$$

- podľa Bogomolova

$$N_{c,3} = 2,3 \cdot \sqrt{\frac{f}{F_{hr}}} \cdot F_{hr} = 2,3 \cdot \sqrt{\frac{9}{18,06}} \cdot 18,06 = 29,32 \text{ ks}$$

- podľa koeficientu nabitia k_n :

$$N_{c,4} = \frac{4 \cdot q_{str} \cdot F_{hr}}{\pi \cdot d_n^2 \cdot \gamma \cdot k_n} = \frac{4 \cdot 1,49 \cdot 18,06}{\pi \cdot 0,03^2 \cdot 10500 \cdot 0,6} = 60,35 \text{ ks}$$

k_n - koeficient nabitia vývrtu

- podľa Dojčára

$$N_{c,5} = Q_{vrt} \cdot A = 2,16 \cdot 18,06 = 75,452 \text{ ks}$$

$$Q_{vrt} = \frac{23}{F_{hr}} + 1 \cdot \left(\frac{32}{D_{vrtu}} \right) = \frac{23}{18,06} + 1 \cdot \left(\frac{32}{36} \right) = 2,16 \text{ bm} \cdot \text{m}^{-3}$$

Q_{vrt} - merná spotreba vývrtov v čelbe

D_{vrtu} - priemer vývrtu

$$N_c = \frac{\sum N_{c,1-5}}{5} = \frac{34,42 + 44,91 + 29,32 + 60,35 + 39,01}{5} = 41,6 = 42 \text{ ks}$$

Hmotnosť nálože vo vývrtoch Q :

$$Q = q_{str} \cdot V = 1,49 \cdot 52,19 = 77,67 \text{ kg}$$

$$V = F_{HR} \cdot z_z = 18,06 \cdot 2,89 = 52,19 \text{ m}^3$$

$$z_{sk} = z_z \cdot k_p \rightarrow z_z = \frac{z_{sk}}{k_p} = \frac{2,6}{0,9} = 2,89 \text{ m}$$

V - objem rozpojenej horniny

z_z - zábierka zálomu

Hmotnosť nálože v jednom vývrte Q_1 :

$$Q_1 = \frac{Q}{N_c} = \frac{77,6742}{42} = 1,8494 \text{ kg}$$

$$Q_{1,\text{oprav}} = 1,9 \text{ kg}$$

Celková hmotnosť nálože vo vrtov Q_{opr} :

$$Q_{\text{oprav}} = Q_{1,\text{oprav}} \cdot N_c = 1,9 \cdot 42 = 79,8 \text{ kg}$$

Maximálny odpor v čelbe W_{max} :

$$W_{\text{max}} = \sqrt{\frac{1}{q_{\text{str}}}} = \sqrt{\frac{0,741}{1,49}} = 0,71 \text{ m}$$

1 - hmotnosť súvislej nálože o dĺžke 1 m

6.3.2 Elektrický roznet náloží pre stupeň tunela

Základné parametre a výpočet elektrického roznetu.

Parametre elektrických rozbušiek:

- názov : DEM - S
- materiál : CU
- dĺžka prírodného vedenia : $l_{\text{prív}} = 2 - 30 \text{ m}$
- merný odpor vodiča : $\rho = 0,0925 \text{ } \Omega/\text{m}$
- bezpečný prúd : $I = 0,45 \text{ A}$
- zážihový impulz : $L_{\text{aktivačný}} = 16 \text{ mJ}/\Omega$

Parametre elektrického vedenia :

- názov : NCY – PK 2 ϕ 0,8 mm
- materiál : CU
- dĺžka : $l = 200 \text{ m}$
- priemer : $d = 0,8 \text{ mm}$
- merný odpor vodiča : $\rho = 0,07 \text{ } \Omega/\text{m}$

Parametre roznetnice :

- názov : DBR 12
- napätie : $U = 1200 \text{ V}$
- kapacita : $C = 25 \text{ } \mu\text{F}$

Odpor hlavného vedenia R_{HV} :

$$R_{HV} = \rho \cdot l = 0,07 \cdot 200 = 14 \, \Omega$$

Odpor jednej rozbušky R_1 :

$$R_1 = R_m + 2 \cdot \rho \cdot l_{prív} = 0,55 + 2 \cdot 0,0925 \cdot 3 = 1,11 \, \Omega$$

Odpor všetkých rozbušiek R_p :

$$R_p = N \cdot R_1 = 42 \cdot 1,11 = 46,41 \, \Omega$$

Časová vyvíjajúca konštanta kondenzátoru τ :

$$\tau = C \cdot \left(R_{HV} + \frac{R_p}{n^2} \right) = 25 \cdot 10^{-6} \cdot \left(14 + \frac{46,41}{1^2} \right) = 0,0015 \, s$$

Zážihový impulz L_z :

$$L_z = \frac{U^2 \cdot C}{2 \cdot (n^2 \cdot R_{HV} + R_p)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot t_z}{\tau}} \right) = \frac{1200^2 \cdot 25 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot (1^2 \cdot 14 + 46,41)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot 0,004}{0,0015}} \right) = 0,30 \, J \Omega^{-1}$$

Výpočet bezpečného roznetu B :

$$B = \frac{L_z}{L_{aktívny}} \geq 1$$

$$B = \frac{300}{16} = 18,75 \geq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.3.3 Pasport a vrtná schéma trhavých prác pre stupeň tunela

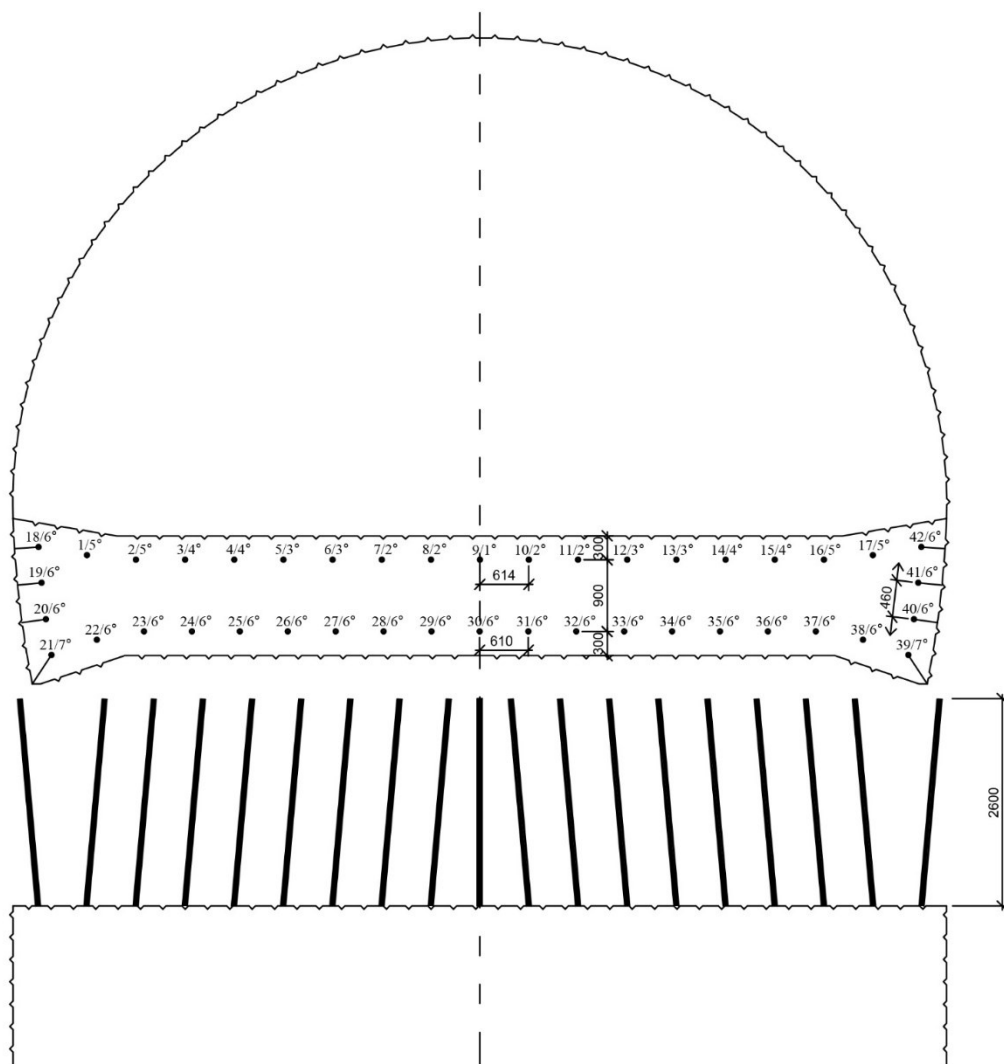
Pasport trhavých prác pre stupeň tunela pri zábere 2,6 m je rozpísaný so všetkými potrebnými informáciami v tabuľke číslo 5. V tabuľke číslo 6 je znázornený nabíjací plán s postupným časovaním. Vrtná schéma pre kalotu je vyobrazená na obrázku číslo 12.

1.	Profil diela		Stupeň tunela
2.	Hrubý profil = F_{HR}	m ²	18,06
3.	Záber	m	2,6
4.	Vylom	m ³	46,96
5.	Priemer vývrtu	mm	36
6.	Počet zálomových vrtov	ks	-
7.	Počet rozširovacích a obrysových vrtov	ks	42
8.	Počet vrtov celkom	ks	42
9.	Hmotnosť nálože v zálomových vrtoch	kg/vrt	-
10.	Hmotnosť nálože v roz. a obrys. vrtoch	kg/vrt	1,9
11.	Celková hmotnosť trhaviny	kg	79,8
12.	Typ trhaviny		PERMONE X V19
13.	Typ rozbušiek		DEM - S
14.	Celkový počet rozbušiek	ks	42
15.	Zapojenie pri elektrickom roznete		Zapojené v sérii
16.	Manipulačný a bezpečný okruh	m	200

Tab. 5 Pasport trhavých prác pre stupeň tunela 2,6 m

Typ	Časový stupeň	Počet vrtov	Nálož v kg		Vrty celkom	Hmotnosť celkom
			1 vrt	1. čas stupeň		
DEM - S	1	1	1,9	1,9	42	79,8
	2	4	↓	7,6		
	3	4		7,6		
	4	4		7,6		
	5	4		7,6		
	6	23		43,7		
	7	2		3,8		

Tab. 6 Návrh nabíjacieho plánu pre stupeň tunela 2,6 m



Obr. 12 Vrtná schéma pre stupeň tunela, záber 2,6 m

6.4 Výpočet stupňa tunela, záber 5,2 m, sypká trhavina

6.4.1 Výpočet trhacích prác pre stupeň tunela

Návrh trhacích prác pre stupeň tunela o pričnom priereze 18,06 m².

Voľba trhaviny : PERMONE X V19

Parametre trhaviny :

$$\gamma = 1050 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad - \text{ hustota}$$

$$V_0 = 0,905 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \quad - \text{ merný objem splodín}$$

$$R_T = 400 \text{ cm}^3 \quad - \text{ výbuch v trauzlu}$$

$$d_n = 0,03 \text{ m} \quad - \text{ priemer nálože}$$

$$Q_1 = 0,1 \text{ kg} \quad - \text{ hmotnosť nálože}$$

$$l_n = 0,135 \text{ m} \quad - \text{ dĺžka jednej nálože}$$

Stredná merná spotreba trhaviny q_{str} :

$q_{\text{str},1-8}$ – prevzaté s predchádzajúceho výpočtu (kapitola 6.3.1)

- podľa VŠB

$$q_{\text{str},9} = (\sqrt{f} + a\sqrt{F_{\text{hr}}}) \cdot \left(0,17 + \frac{67}{R_t}\right) \cdot Z_{\text{sk}} = (\sqrt{9} + 0,25\sqrt{18,06}) \left(0,17 + \frac{67}{400}\right) \cdot 5,2 =$$
$$= 7,13 \text{ kgm}^{-3}$$

$$q_{\text{str}} = \frac{\sum q_{\text{str},1-9}}{9} = \frac{0,71 + 1,24 + 1,41 + 1,51 + 1,22 + 1,57 + 0,84 + 1,32 + 7,13}{9} =$$
$$= 1,88 \text{ kgm}^{-3}$$

Celkový počet vývrtov na čelbe N_c :

$N_{c,1-3,5}$ – prevzaté s predchádzajúceho výpočtu (kapitola 5.3.1)

$$N_{c,4} = \frac{4 \cdot q_{\text{str}} \cdot F_{\text{hr}}}{\pi \cdot d_n^2 \cdot \gamma \cdot k_n} = \frac{4 \cdot 1,88 \cdot 18,06}{\pi \cdot 0,03^2 \cdot 1050 \cdot 0,6} = 76,42 \text{ ks}$$

k_n – koeficient nabitia vývrtu

$$N_c = \frac{\sum N_{c,1-5}}{5} = \frac{34,42 + 44,91 + 29,32 + 76,42 + 39,01}{5} = 44,82 = 45 \text{ ks}$$

Hmotnosť nálože vo vývrtoch Q :

$$Q = q_{\text{str}} \cdot V = 1,89 \cdot 104,19 = 196,33 \text{ kg}$$

$$V = F_{\text{HR}} \cdot z_z = 18,06 \cdot 5,78 = 104,19 \text{ m}^3$$

$$z_{\text{sk}} = z_z \cdot k_p \rightarrow z_z = \frac{z_{\text{sk}}}{k_p} = \frac{5,2}{0,9} = 5,78 \text{ m}$$

V - objem rozpojenej horniny

z_z - zábierka zálomu

Hmotnosť nálože v jednom vývrte Q_1 :

$$Q_1 = \frac{Q}{N_c} = \frac{196,33}{45} = 4,36 \text{ kg}$$

$$Q_{1,\text{oprav}} = 4,4 \text{ kg}$$

Celková hmotnosť nálože vo vrtov Q_{opr} :

$$Q_{\text{oprav}} = Q_{1,\text{oprav}} \cdot N_c = 4,4 \cdot 45 = 198 \text{ kg}$$

Maximálny odpor v čelbe W_{max} :

$$W_{\text{max}} = \sqrt{\frac{l}{q_{\text{str}}}} = \sqrt{\frac{0,741}{1,89}} = 0,63 \text{ m}$$

l - hmotnosť súvislej nálože o dĺžke 1 m

6.4.2 Elektrický roznet náloží pre stupeň tunela

Základné parametre a výpočet elektrického roznetu.

Parametre elektrických rozbušiek :

- názov : DEM - S
- materiál : CU
- dĺžka prívodného vedenia : $l_{\text{prív}} = 2 - 30 \text{ m}$
- merný odpor vodiča : $\rho = 0,0925 \text{ } \Omega/\text{m}$
- bezpečný prúd : $I = 0,45 \text{ A}$
- zážihový impulz : $L_{\text{aktivačný}} = 16 \text{ mJ}/\Omega$

Parametre elektrického vedenia :

- názov : NCY – PK 2 ϕ 0,8 mm
- materiál : CU
- dĺžka : $l = 200 \text{ m}$
- priemer : $d = 0,8 \text{ mm}$
- merný odpor vodiča : $\rho = 0,07 \text{ } \Omega/\text{m}$

Parametre roznetnice :

- názov : DBR 12
- napätie : $U = 1200 \text{ V}$
- kapacita : $C = 25 \text{ } \mu\text{F}$

Odpor hlavného vedenia R_{HV} :

$$R_{\text{HV}} = \rho \cdot l = 0,07 \cdot 200 = 14 \text{ } \Omega$$

Odpor jednej rozbušky R_1 :

$$R_1 = R_m + 2 \cdot \rho \cdot l_{\text{prív}} = 0,55 + 2 \cdot 0,0925 \cdot 3 = 1,11 \text{ } \Omega$$

Odpor všetkých rozbušiek R_p :

$$R_p = N \cdot R_1 = 45 \cdot 1,11 = 49,73 \text{ } \Omega$$

Časová vyvíjajúca konštanta kondenzátoru τ :

$$\tau = C \cdot \left(R_{HV} + \frac{R_p}{n^2} \right) = 25 \cdot 10^{-6} \cdot \left(14 + \frac{49,73}{1^2} \right) = 0,0016 \text{ s}$$

Zážihový impulz L_z :

$$L_z = \frac{U^2 \cdot C}{2 \cdot (n^2 \cdot R_{HV} + R_p)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot t_z}{\tau}} \right) = \frac{1200^2 \cdot 25 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot (1^2 \cdot 14 + 49,73)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot 0,004}{0,0016}} \right) = 0,28 \text{ J}\Omega^{-1}$$

Výpočet bezpečného roznetu B :

$$B = \frac{L_z}{L_{\text{aktivačný}}} \geq 1$$

$$B = \frac{280}{16} = 17,5 \geq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.4.3 Pasport a vrtná schéma trhacích prác pre stupeň tunela

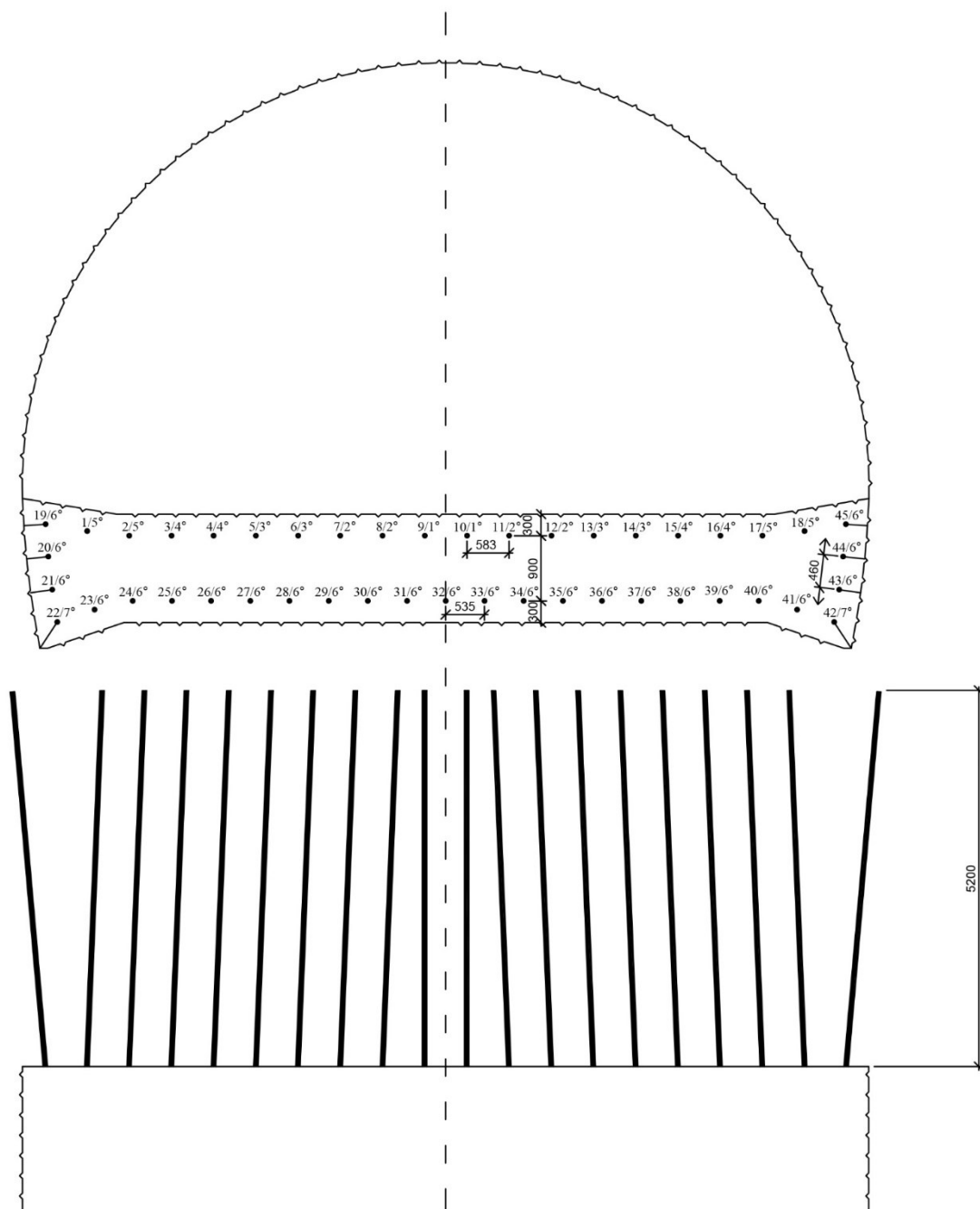
Pasport trhacích prác pre stupeň tunela pri zábere 5,2 m je rozpísaný zo všetkými potrebnými informáciami v tabuľke číslo 7. V tabuľke číslo 8 je znázornený nabíjací plán s postupným časovaním. Vrtná schéma pre kalotu je vyobrazená na obrázku číslo 13.

1.	Profil diela		Stupeň tunela
2.	Hrubý profil = F_{HR}	m ²	18,06
3.	Záber	m	5,2
4.	Vylom	m ³	93,91
5.	Priemer vývrtu	mm	36
6.	Počet zálomových vrtov	ks	-
7.	Počet rozširovacích a obrysových vrtov	ks	45
8.	Počet vrtov celkom	ks	45
9.	Hmotnosť nálože v zálomových vrtoch	kg/vrt	-
10.	Hmotnosť nálože v roz. a obrys. vrtoch	kg/vrt	4,4
11.	Celková hmotnosť trhaviny	kg	198
12.	Typ trhaviny		PERMONE X V19
13.	Typ rozbušiek		DEM - S
14.	Celkový počet rozbušiek	ks	45
15.	Zapojenie pri elektrickom roznete		Zapojené v sérii
16.	Manipulačný a bezpečný okruh	m	200

Tab. 7 Pasport trhacích prác pre stupeň tunela 5,2 m

Typ	Časový stupeň	Počet vrtov	Nálož v kg		Vrty celkom	Hmotnosť celkom
			1 vrt	1. čas stupeň		
DEM - S	1	2	4,4	8,8	45	198
	2	4	↓	17,6		
	3	4		17,6		
	4	4		17,6		
	5	4		17,6		
	6	25		110,0		
	7	2		8,8		

Tab. 8 Návrh nabíjacieho plánu pre stupeň tunela 5,2 m



Obr.13 Vrtná schéma pre stupeň tunela, záber 5,2 m

6.5 Výpočet kaloty tunela, záber 1,3 m, želatínová trhavina

Návrh trhacích prác pre kalotu tunela o priečnom priereze 58,04 m².

Parametre zálomu:

$a = 400 \text{ mm}$	- rozteč zálomových dvojíc
$\alpha = 65^\circ$	- uhol zálomových vývrtov k rovine čelby
$N_z = 8$	- počet zálomových vývrtov
$x = 150 \text{ mm}$	- priblíženie vývrtov

6.5.1 Výpočet trhacích prác pre kalotu tunela

Záber zálomu z_z :

$k_p = 0,9 \text{ m}$ - koeficient využitia vývrtu

$$z_{sk} = z_z \cdot k_p \rightarrow z_z = \frac{z_{sk}}{k_p} = \frac{1,3}{0,9} = 1,44 \text{ m}$$

Stanovenie dĺžky zálomoveho vývrtu l_z :

$$l_z = \frac{z_z}{\sin \alpha} = \frac{1,44}{\sin 65} = 1,59 \text{ m}$$

Vzdialenosť ústia zálomových vývrtov od osi zálomu R :

$$R = \sqrt{l_z^2 - z_z^2} + 0,5 \cdot x = \sqrt{1,59^2 - 1,44^2} + 0,5 \cdot 0,15 = 0,75 \text{ m}$$

Voľba trhaviny : PERUNIT E

Parametre trhaviny :

$$\gamma = 1380 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad - \text{ hustota}$$

$$V_0 = 0,858 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \quad - \text{ merný objem splodín}$$

$$R_T = 385 \text{ cm}^3 \quad - \text{ výbuch v trauzlu}$$

$$d_n = 0,028 \text{ m} \quad - \text{ priemer nálože}$$

$$Q_1 = 0,2 \text{ kg} \quad - \text{ hmotnosť nálože}$$

$$l_n = 0,22 \text{ m} \quad - \text{ dĺžka jednej nálože}$$

Stredná merná spotreba trhaviny q_{str} :

- podľa Protodjakonova I.

$$q_{\text{str},1} = \sqrt{\frac{f}{F_{\text{hr}}}} = \sqrt{\frac{9}{58,04}} = 0,39 \text{ kgm}^{-3}$$

- podľa Protodjakonova II.

$$q_{\text{str},2} = 0,5 \cdot \left(\sqrt{0,2f} + \frac{1}{\sqrt{F_{\text{hr}}}} \right)^2 = 0,5 \cdot \left(\sqrt{0,2 \cdot 9} + \frac{1}{\sqrt{58,04}} \right)^2 = 1,09 \text{ kgm}^{-3}$$

- podľa Ibrajeva

$$q_{\text{str},3} = \frac{\sqrt{f} - a\sqrt{F_{\text{hr}}}}{t} = \frac{9 - 0,275\sqrt{58,04}}{1,3} = 0,7 \text{ kgm}^{-3}$$

- podľa Pokrovského

$$q_{\text{str},4} = s_1 \cdot s_2 \cdot n \cdot e = 0,9 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot 1,04 = 0,88 \text{ kgm}^{-3}$$

$$n = \frac{6,5}{\sqrt{F_{\text{HR}}}} = \frac{6,5}{\sqrt{58,04}} = 0,85$$

$$e = \frac{400}{R_t} = \frac{400}{385} = 1,04$$

$$s_1 = 0,1 \cdot f = 0,1 \cdot 9 = 0,9$$

s_1 - súčiniteľ rozpojitelnosti horniny

s_2 - súčiniteľ štruktúry horniny v čelne

n - súčiniteľ upnutia horniny

e - koeficient pracovnej schopnosti trhaviny

- podľa Čuprunova

$$q_{\text{str},5} = m \left(\frac{0,6e\sqrt{f}}{\sqrt{x}} - 0,05\sqrt{f \cdot F_{\text{hr}}} \right) = 1 \left(\frac{0,6 \cdot 1,04 \cdot \sqrt{9}}{\sqrt{0,88}} - 0,05\sqrt{9 \cdot 58,04} \right) = 0,86 \text{ kgm}^{-3}$$

$$x = \frac{d_n}{32} = \frac{28}{32} = 0,88$$

m - koeficient počtu voľných plôch

x - koeficient vplyvu priemeru nálože

▪ podľa Langeforse

$$q_{\text{str},6} = \frac{14}{F_{\text{hr}}} + 0,8 = \frac{14}{58,04} + 0,8 = 1,04 \text{ kgm}^{-3}$$

▪ podľa OKR (VVUÚ)

$$q_{\text{str},7} = 1,85 \cdot m \cdot b \cdot c \cdot e \cdot k = 1,85 \cdot 3,34 \cdot 0,14 \cdot 0,67 \cdot 0,86 \cdot 1,02 = 0,49 \text{ kgm}^{-3}$$

m - koeficient pevnosti horniny

b - koeficient veľkosti profilu diela

c - koeficient priemeru nálože trhaviny

e - koeficient pracovnej schopnosti trhaviny

k - koeficient vplyvu hustoty trhaviny

▪ podľa MHD (Rudné doly)

$$q_{\text{str},8} = q \cdot x \cdot y = 1,5 \cdot 0,8 \cdot 1,1 = 1,32 \text{ kgm}^{-3}$$

q - základná merná spotreba trhaviny

x - koeficient štruktúry horniny v čelbe

y - koeficient charakteru horniny

▪ podľa VŠB

$$q_{\text{str},9} = \left(\sqrt{f} + a \sqrt{F_{\text{hr}}} \right) \cdot \left(0,17 + \frac{67}{R_t} \right) \cdot Z_{\text{sk}} = \left(\sqrt{9} + 0,25 \sqrt{58,04} \right) \left(0,17 + \frac{67}{385} \right) \cdot 1,3 =$$

$$= 2,19 \text{ kgm}^{-3}$$

$$q_{\text{str}} = \frac{\sum q_{\text{str},1-9}}{9} = \frac{0,39 + 1,09 + 0,7 + 0,88 + 0,86 + 1,04 + 0,49 + 1,32 + 2,19}{9} =$$

$$= 1,0 \text{ kgm}^{-3}$$

Merná spotreba trhaviny v zálome q_z :

$$q_z = \frac{q_{\text{str}} \cdot F_{\text{hr}} \cdot Z_z}{V_z + 0,6 \cdot (F_{\text{hr}} \cdot Z_z - V_z)} = \frac{1,0 \cdot 58,04 \cdot 1,44}{3,55 + 0,6 \cdot (58,04 \cdot 1,44 - 3,55)} = 1,61 \text{ kgm}^{-3}$$

$$V_z = \frac{2 \cdot R + x}{2} \cdot z_z \cdot a = \frac{2 \cdot 0,747 + 0,15}{2} \cdot 1,44 \cdot 3 = 3,55 \text{ kgm}^{-3}$$

V_z - objem klinu zálomu

Merná spotreba trhaviny v pomocných vrtoch q_p :

$$q_p = 0,6. q_z = 0,6.1,61 = 0,97 \text{ kgm}^{-3}$$

$$q_z > q_{\text{str}} > q_p \rightarrow 1,61 > 1,0 > 0,97 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Hmotnosť nálože v zálome Q_z :

$$Q_z = q_z \cdot V_z = 1,61.3,55 = 5,73 \text{ kg}$$

Hmotnosť jednej zálomovej nálože Q_{1z} :

$$Q_{1z} = \frac{Q_z}{N_z} = \frac{5,73}{8} = 0,72 \text{ kg}$$

$$Q_{1z, \text{oprav}} = 0,8 \text{ kg}$$

Kontrola nabitia :

$$\text{počet náloží. } l_n > 0,4. l_z \rightarrow 8.0,22 = 1,76 > 0,4.1,59 = 0,64 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Opravená hmotnosť nálože v zálome $Q_{z, \text{opr}}$:

$$Q_{z, \text{opr}} = Q_{1z, \text{oprav}} \cdot N_z = 0,8.8 = 6,4 \text{ kg}$$

Celkový počet vývrtov na čelbe N_c :

- podľa Protodjakonova I.

$$N_{c,1} = 2,7. \sqrt{\frac{f}{F_{\text{hr}}}} \cdot F_{\text{hr}} = 2,7. \sqrt{\frac{9}{58,04}} \cdot 58,04 = 61,71 \text{ ks}$$

- podľa Protodjakonova II.

$$N_{c,2} = \left(\sqrt{0,2 \cdot f} + \frac{1}{\sqrt{F_{\text{hr}}}} \right)^2 \cdot F_{\text{hr}} = \left(\sqrt{0,2 \cdot 9} + \frac{1}{\sqrt{58,04}} \right)^2 \cdot 58,04 = 125,9 \text{ ks}$$

- podľa Bogomolova

$$N_{c,3} = 2,3. \sqrt{\frac{f}{F_{\text{hr}}}} \cdot F_{\text{hr}} = 2,3. \sqrt{\frac{9}{58,04}} \cdot 58,04 = 52,57 \text{ ks}$$

- podľa koeficientu nabitia k_n :

$$N_{c,4} = \frac{4 \cdot q_{\text{str}} \cdot F_{\text{hr}}}{\pi \cdot d_n^2 \cdot \gamma \cdot k_n} = \frac{4 \cdot 1,0 \cdot 58,04}{\pi \cdot 0,028^2 \cdot 1380 \cdot 0,6} = 113,3 \text{ ks}$$

k_n koeficient nabitia vývrtu

- podľa Dojčára

$$N_{c,5} = Q_{vrt} \cdot A = 1,358,04 = 75,45 \text{ ks}$$

$$Q_{vrt} = \frac{23}{F_{hr}} + 1 \cdot \left(\frac{32}{D_{vrtu}} \right) = \frac{23}{58,04} + 1 \cdot \left(\frac{32}{36} \right) = 1,3 \text{ bm. m}^{-3}$$

Q_{vrt} - merná spotreba vývrtov v čelbe

D_{vrtu} - priemer vývrtu

$$N_c = \frac{\sum N_{c,1-5}}{5} = \frac{61,71 + 125,9 + 52,57 + 113,3 + 75,45}{5} = 85,78 = 86 \text{ ks}$$

Počet pomocných vrtov na čelbe N_p :

$$N_p = N_c - N_z = 86 - 8 = 78 \text{ ks}$$

Hmotnosť nálože v pomocných vývrtach Q_p :

$$Q_p = q_p \cdot V_p = q_p (V_c - V_z) = q_p (F_{hr} \cdot z_z - V_z) = 0,97 \cdot (58,04 \cdot 1,44 - 3,55) = 77,46 \text{ kg}$$

Hmotnosť nálože v jednom pomocnom vývrte Q_{1p} :

$$Q_{1p} = \frac{Q_p}{N_p} = \frac{77,46}{78} = 0,99 \text{ kg}$$

$$Q_{1p,oprav} = 1,0 \text{ kg}$$

Opravená hmotnosť nálože v pomocných vrtach $Q_{p,opr}$:

$$Q_{p,opr} = Q_{1p,oprav} \cdot N_p = 1,0 \cdot 78 = 78 \text{ kg}$$

Celková hmotnosť náloží Q_c :

$$Q_c = Q_{p,opr} + Q_{z,opr} = 78 + 6,4 = 84,4 \text{ kg}$$

Maximálny odpor v čelbe W_{max} :

$$W_{max} = \sqrt{\frac{1}{q_p}} = \sqrt{\frac{0,909}{0,97}} = 0,97 \text{ m}$$

1 - hmotnosť súvislej nálože o dĺžke 1 m

6.5.2 Elektrický roznet náloží pre kalotu tunela

Základné parametre a výpočet elektrického roznetu.

Parametre elektrických rozbušiek :

- názov : DEM - S
- materiál : CU
- dĺžka prívodného vedenia : $l_{\text{prív}} = 2 - 30 \text{ m}$
- merný odpor vodiča : $\rho = 0,0925 \text{ } \Omega/\text{m}$
- bezpečný prúd : $I = 0,45 \text{ A}$
- zážihový impulz : $L_{\text{aktivačný}} = 16 \text{ mJ}/\Omega$

Parametre elektrického vedenia :

- názov : NCY – PK 2 ϕ 0,8 mm
- materiál : CU
- dĺžka : $l = 200 \text{ m}$
- priemer : $d = 0,8 \text{ mm}$
- merný odpor vodiča : $\rho = 0,07 \text{ } \Omega/\text{m}$

Parametre roznetnice :

- názov : DBR 12
- napätie : $U = 1200 \text{ V}$
- kapacita : $C = 25 \text{ } \mu\text{F}$

Odpor hlavného vedenia R_{HV} :

$$R_{\text{HV}} = \rho \cdot l = 0,07 \cdot 200 = 14 \text{ } \Omega$$

Odpor jednej rozbušky R_1 :

$$R_1 = R_m + 2 \cdot \rho \cdot l_{\text{prív}} = 0,55 + 2 \cdot 0,0925 \cdot 3 = 1,11 \text{ } \Omega$$

Odpor všetkých rozbušiek R_p :

$$R_p = N \cdot R_1 = 86 \cdot 1,11 = 95,03 \text{ } \Omega$$

Časová vyvíjajúca konštanta kondenzátoru τ :

$$\tau = C \cdot \left(R_{HV} + \frac{R_p}{n^2} \right) = 25 \cdot 10^{-6} \cdot \left(14 + \frac{95,03}{1^2} \right) = 0,0027 \text{ s}$$

Zážihový impulz L_z :

$$L_z = \frac{U^2 \cdot C}{2 \cdot (n^2 \cdot R_{HV} + R_p)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot t_z}{\tau}} \right) = \frac{1200^2 \cdot 25 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot (1^2 \cdot 14 + 95,03)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot 0,004}{0,0027}} \right) = 0,157 \text{ J}\Omega^{-1}$$

Výpočet bezpečného roznetu B :

$$B = \frac{L_z}{L_{\text{aktivačný}}} \geq 1$$

$$B = \frac{157}{16} = 9,81 \geq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.5.3 Pasport a vrtná schéma trhavých prác pre stupeň tunela

Pasport trhavých prác pre kalotu tunela, pri zábere 1,3 m je rozpisovaný zo všetkými potrebnými informáciami v tabuľke číslo 9. V tabuľke číslo 10 je znázornený nabíjací plán s postupným časovaním. Vrtná schéma pre kalotu je vyobrazená na obrázku číslo 14.

1.	Profil diela		Kalota tunela
2.	Hrubý profil = F_{HR}	m ²	58,04
3.	Záber	m	1,3
4.	Vylom	m ³	75,45
5.	Typ zálomu		zbiehavý klinový
6.	Priemer vývrtu	mm	36
7.	Počet zálomových vrtov	ks	8
8.	Počet rozširovacích a obrysových vrtov	ks	78
9.	Počet vrtov celkom	ks	86
10.	Hmotnosť nálože v zálomových vrtoch	kg/vrt	0,8
11.	Hmotnosť nálože v roz. a obrys. vrtoch	kg/vrt	1
12.	Celková hmotnosť trhaviny	kg	6,4+78
13.	Celková hmotnosť trhaviny	kg	84,4
14.	Typ trhaviny		PERUNIT E
15.	Typ rozbušiek		DEM - S
16.	Celkový počet rozbušiek	ks	86
17.	Zapojenie pri elektrickom roznete		Zapojené v sérií
18.	Manipulačný a bezpečný okruh	m	200

Tab. 9 Pasport trhavých prác pre kalotu tunela 1,3 m

Typ	Časový stupeň	Počet vrtov	Nálož v kg		Vrty celkom	Hmotnosť celkom
			1 vrt	1. čas stupeň		
DEM - S	1	8	0,8	6,4	86	84,4
	2	8	1	8,0		
	3	8	↓	8,0		
	4	6		6,0		
	5	6		6,0		
	6	8		8,0		
	7	5		5,0		
	8	13		13,0		
	9	8		8,0		
	10	10		10,0		
	11	6		6,0		

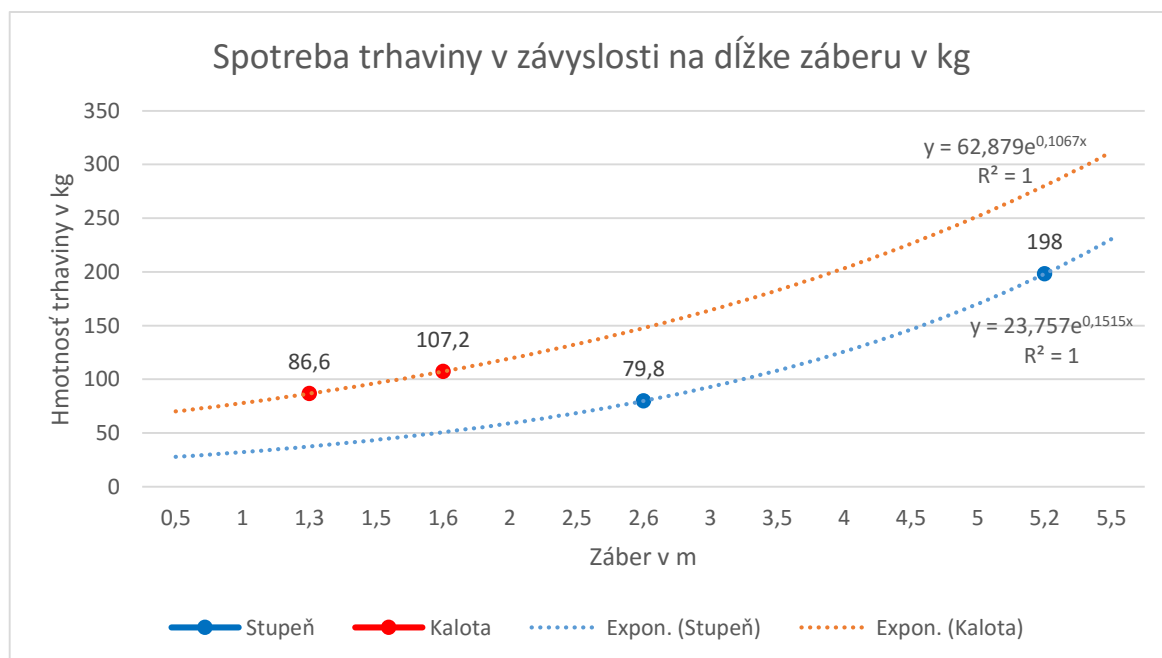
Tab. 10 Návrh nabíjacieho plánu pre kalotu tunela 1,3 m



6.6 Vyhodnotenie trhacích prác

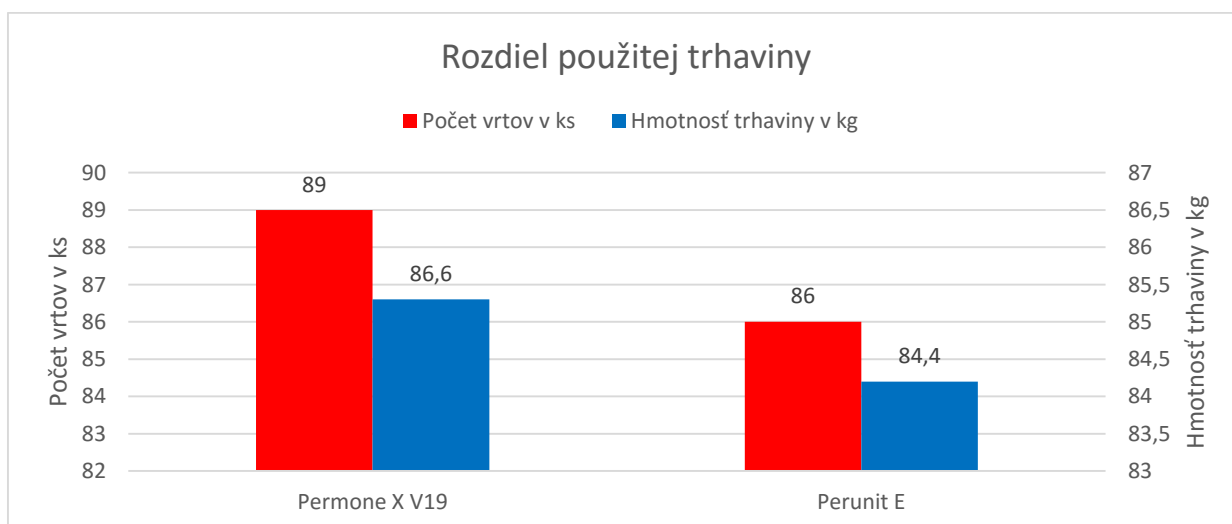
Na základe návrhu a výpočtu trhacích prác pre diaľničný tunel som došiel k nasledujúcim záverom:

Spotreba trhaviny v kilogramoch je závislá na zábere, respektíve na výlome horniny. Na grafe (Obr. 15) je znázornená potrebná hmotnosť trhaviny v kilogramoch (vertikálna os) pre záber od 0,5 m do 5,5 m (horizontálna os). Výsledné hodnoty boli získané ako pro kalotu 58,04 m² tak aj pre stupeň 18,06 m². Množstvo rozpojenej horniny odpovedá pre kalotu 75,45 m³ až 92,86 m³ a pro stupeň 46,96 m³ až 93,91 m³. Rozdiel plochy kaloty a stupňa v rozpojenej horniny (pre 1 m záber) je zhruba 3 násobný a objem je približne 40 m³. Na grafe (Obr. 15) je získanými bodmi preložená korelačná krivka. Najpresnejšia korelácia odpovedá exponenciálnej závislosti s presnosťou $R = 1$ a pre kalotu a $R = 1$ pre stupeň. Pre získanie presnejšej korelácie by bolo vhodnejšie získať viac bodov pre porovnanie s logaritmickým trendom alebo polynómom. Pre polynóm druhého stupňa nie je možné uviesť presnosť na základe nedostatku dopočítaných bodov. Exponenciálna krivka neodpovedá presným požiadavkám návrhu, ale matematicky vychádza najlepšie. Zo závislosti vyplýva že s rastúcou hodnotou záberu rastie aj spotreba trhaviny. Táto závislosť nie je ovplyvnená len dĺžkou záberu, ale aj ďalšími parametrami (plocha, spotreba trhaviny atď.).



Obr. 15 Spotreba trhaviny v závislosti na dĺžke záberu v kg

Na základe pevnosti horniny v tlaku môžeme rozdeliť horninu do tried, ktoré ovplyvňujú voľbu trhaviny. V danom prípade sa jedná o triedu 5/1 (platí v prípade tunela Ovčiarsko). Na grafe (Obr. 16) sú porovnané dve rôzne trhaviny pri rovnakých podmienkach (plocha čelby – 58,04 m², záber 1,3 m). Modrou farbou je potrebná hmotnosť trhaviny v kg pre jeden záber a červenou farbou počet vrtov na čelbe v kusoch. V prípade Permonex V19 sa jedná o sypkú trhavinu a Perunit E o želatínovú trhavinu. Na základe grafu (Obr. 16) je teda zjavné, že v prípade použitia plastickej trhaviny sa jedná o úsporu 2,5% v spotrebe hmotnosti trhaviny v kilogramoch a 3,37% pri počte vrtov na čelbe. Pri teoretickom predpoklade razenia celého tunela pomocou trhacích prác 2320 m, by sa pri zábere 1,3m jednalo o 1 785 záberov, pričom by sa ušetrilo takmer 4 tisíc kilogramov trhaviny a 5 tisíc vrtov. Je teda možné predpokladať, že v našom prípade sa osvedčí želatínová trhavina, ktorá má lepšie vlastnosti a má pre daný typ horniny ekonomickejšie využitie. Porovnanie vlastností trhavín je v tabuľke číslo 11.



Obr. 16 Rozdiel použitej trhaviny

	Jednotka	Permonex V19	Perunit E
Hustota	kg/m ³	1050	1380
Merný objem splodín	dm ³ /kg	905	858
Výbuch v trazulu	cm ³	400	385
Priemer nálože	mm	30	28
Hmotnosť nálože	g	100	200
Dĺžka nálože	mm	135	220
Výbuchové teplo	kJ/kg	4242	4100

Tab. 11 Porovnanie vlastností trhavín

7. Záver

V práci som sa zamerlal na riešenie oblasti tunela Ovčiarsko a na trhacie práce v podzemnom stavitel'stve. Trhacie práce sú stále aj dodnes najviac používané pri razení podzemných diel napriek novým technológiám.

Prvá časť práce je venovaná podzemným stavbám a použitiu trhacích prác pri ich budovaní. Následne je stručné zhrnutie informácií o trhacích prácach vo všeobecnosti. Súčasnému stavu diaľnice D1 a tunelu Ovčiarsko sa venuje kapitola číslo 4. V ďalšej kapitole sú obsiahnuté trhacie práce pri budovaní tunela Ovčiarsko.

V druhej časti práce sa venujem priamo návrhu trhacích prác na daný diaľničný tunel. Koeficient pevnosti horniny podľa Protodjakonova bol stanovený 9 na základe skutočnosti. Dielo bolo rozdelené na kalotu a stupeň podľa pôvodného projektu a skutočná zábierka bola stanovená od 1,3 m po 1,6 m pre kalotu a 2,6 m až 5,2 m pre stupeň. Plocha kaloty bola 58,04 m² a pre stupeň 18,06 m².

Pre výpočet som zvolil sypkú trhavinu Permonex V 19 s elektrickým roznetom za použitia elektrickej rozbušky typu DEM – S a roznetnice DBR 12. Pre porovnanie som zvolil iný typ trhaviny, želatínovú trhavinu Perunit E za použitia rovnakej elektrickej rozbušky a roznetnice. Výpočtom som sa dopracoval k potrebnému množstvu trhaviny a mernej spotrebe trhaviny a počtu vrto. Vyrátaná merná spotreba trhaviny sa nelíšila od skutočnej hodnoty o viac ako 10%. Pre odhad mernej strednej spotreby existujú tiež tabuľky v literatúre a pre daný prípad nedošlo k výraznému rozdielu v hodnote spotreby. Všetky potrebné informácie sú zhrnuté v jednotlivých pasportoch a vrtných schém pre trhacie práce.

Záverom mojej práce je porovnanie jednotlivých trhavín a spotreba trhaviny pre záber. Pre porovnanie som vybral sypkú trhavinu Permonex V19 a želatínovú trhavinu Perunit E. Spotreba trhaviny bola rátaná na základe záberu a plochy tunela. S uvedených výsledkov v predchádzajúcej kapitole vyplýva, že pri použití želatínovej trhaviny by malo dôjsť k úspore v spotrebe trhaviny a vývrtov na čelbe. Ekonomické hľadisko nebolo v práci posudzované.

Trhacie práce sú aj cez nástup modernej raziacej techniky prevládajúcou technológiou rozpojovania hornín pri razení podzemných diel. Práca mi rozšírila prehľad o trhacích prácach a ich využití v podzemnom stavitel'stve. Doplnila mi informácie o prevádzaní návrhu trhacích prác pre tunel, spolu s vytváraním pasportizácií a vrtných schém.

8. PodĎakovanie

Ďakujem môjmu vedúcemu práce Ing. Lukášovi Ďurišovi Ph.D, za jeho odborné vedenie, pomoc, cenné rady a informácie, ktoré mi poskytol pri vypracovaní bakalárskej práce. Ďalej sa chcem poďakovať pánovi Ing. Jozefovi Valkovi a spoločnosti Uranpres s .r. o. za ochotu a poskytnuté materiály potrebné pre moju prácu. Osobitné poďakovanie patrí mojej rodine, priateľke a priateľom za ich podporu a pochopenie.

9. Zoznam použitých zdrojov

Knižné tituly :

- [1] DOJČÁR, Ondrej, Jiří HORKÝ a Robert KORŘÍNEK. Trhacia technika. Ostrava: Montanex, 1996. ISBN 80-85780-69-0.
- [2] KLEPSATEL, František, Pavol KUSÝ a Libor MAŘÍK. Výstavba tunelů ve skalních horninách. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, 2003. ISBN 80-88905-43-5.
- [3] PRAVDA, Vladimír a Jiří BĚTÍK. Trhací práce v hornictví, stavebnictví a speleologii. Jesenice u Prahy: Montanika, 2010. ISBN 978-80-254-8542-2.
- [4] MÜNCHER, Eduard. Příručka pre strelmajstrov a technických vedúcich odstrelů. Košice: BEKI, s.r.o., 2011. ISBN 80-968748-4-5.
- [5] WITKOVSKÝ, Miroslav a Štefan KORTIŠ. Technologický postup trhacích prác malého rozsahu. Spišská Nová Ves: MATRIX SLOVAKIA s.r.o., 2014.

Internetové stránky :

- [6] Explosia, a.s.: Trhaviny. *Explosia, a.s.* [online]. [cit. 2016-04-12].
Dostupné z: <http://www.explosia.cz/?show=trhaviny#t1>
- [7] *Austin Detonator* [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.austin.cz/>
- [8] *Národná diaľničná spoločnosť* [online]. [cit. 2016-04-14].
Dostupné z: <http://www.ndsas.sk/dialnica-d1/44381s>
- [9] *Univerzita Komenského v Bratislave: Geomorfológia* [online]. [cit. 2016-04-14].
Dostupné z: <http://staryweb.fns.uniba.sk/index.php?id=3647>

Odborné časopisy :

- [10] *ASB: Tunel Ovčiarsko* [online]. [cit. 2016-04-14].
Dostupné z: <http://www.asb.sk/inzinierske-stavby/tunely/tunel-ovciarsko>

Software :

- [11] Autodesk. *AutoCAD 2015*. [počítačový program].
- [12] Microsoft. *Microsoft Office 2013*. [počítačový program]

10. Zoznam Obrázkov

Obr. 1 Trhacie práce na tuneli Ovčiarsko (Zdroj: /www.teraz.sk)	12
Obr. 2 Elektrická rozbuška (Zdroj: www.wikimedia.org).....	19
Obr. 3 Elektronická rozbuška [3]	19
Obr. 4 Bleskovice (Zdroj: www.hornictvi.info).....	20
Obr. 5 Roznetnice DBR – 12 [3]	21
Obr. 6 Diaľnica D1 [8]	23
Obr. 7 Tunel Ovčiarsko	24
Obr. 8 Geomorfologická mapa [9]	25
Obr. 9 Profil diela tunela [5].....	29
Obr. 10 Vrtná schéma pre kalotu tunela, záber 1,3 m	37
Obr. 11 Vrtná schéma pre kalotu tunela, záber 1,6 m	44
Obr. 12 Vrtná schéma pre stupeň tunela, záber 2,6 m.....	52
Obr. 13 Vrtná schéma pre stupeň tunela, záber 5,2 m.....	58
Obr. 14 Vrtná schéma pre kalotu tunela, záber 1,3 m	67
Obr. 15 Spotrba trhaviny v závislosti na dĺžke záberu v kg	68
Obr. 16 Rozdiel použitej trhaviny	69

11. Zoznam tabuliek

Tab. 1 Pasport trhacích prác pre kalotu tunela 1,3 m	37
Tab. 2 Návrh nabíjacieho plánu pre kalotu tunela 1,3 m.....	37
Tab. 3 Pasport trhacích prác pre kalotu tunela 1,6 m	44
Tab. 4 Návrh nabíjacieho plánu pre kalotu tunela 1,6 m.....	44
Tab. 5 Pasport trhacích prác pre stupeň tunela 2,6 m.....	51
Tab. 6 Návrh nabíjacieho plánu pre stupeň tunela 2,6 m	51
Tab. 7 Pasport trhacích prác pre stupeň tunela 5,2 m.....	57
Tab. 8 Návrh nabíjacieho plánu pre stupeň tunela 5,2 m	57
Tab. 9 Pasport trhacích prác pre kalotu tunela 1,3 m	66
Tab. 10 Návrh nabíjacieho plánu pre kalotu tunela 1,3 m.....	66
Tab. 11 Porovanie vlastností trhavín	69